

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## **Optimalizace přidělování vozidel parkovacím plochám**

### **Allocation of Vehicle on Apron Optimization**

Diplomant: Bc. Martin Ludvík  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

Ostrava 2010



VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Ludvík**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**  
Specializace: **20 Silniční doprava**  
Téma: **Optimalizace přidělování vozidel parkovacím plochám**  
**Allocation of Vehicle on Apron Optimization**

Zásady pro vypracování:

Cíl: Provéřít možnosti úspor ujeté vzdálenosti při vybraných typech služebních jízd autobusů v Dopravním podniku Ostrava a.s.

Osnova diplomové práce:

1. Úvod.
2. Definování problému a formulace cílů práce.
3. Analýza podkladů pro řešení problému.
4. Výběr vhodné metody pro řešení úlohy a realizace optimalizačního výpočtu.
5. Zhodnocení dosažených výsledků a formulace souvisejících doporučení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


Janáček, J.. Matematické programování. Žilina: Žilinská univerzita, 1999. 225 s.. ISBN 80-7100-573-8  
Surovec, P.. Provoz a ekonomika silniční dopravy I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000, 119 s.. ISBN 80-8070-735-X

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

  
doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....  
21.5.2010




.....  
podpis studenta

**Prohlašuji, že**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2010

  
.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Martin Ludvík

Adresa trvalého pobytu autora práce: OSTRAVA, DUBINA  
ANTONÍNA POLEDNÍKA 2/4  
okr. OSTRAVA-MĚSTO

## Poděkování

Zde bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Dušanu Teichmannovi, Ph.D. za jeho trpělivé vedení a cenné rady.

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LUDVÍK, M. Optimalizace přidělování vozidel parkovacím plochám : diplomová práce  
Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010,  
69 s. Vedoucí práce: Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá sestavením matematického modelu pro optimalizaci přidělování autobusů odstavným plochám v Dopravním podniku Ostrava a.s.. Při nástupech autobusů k obsluze spojů a jejich odstupech po ukončení obsluhy posledního spoje vznikají neproduktivní jízdy, přičemž náklady na tyto neproduktivní jízdy mají negativní vliv na hospodářský výsledek společnosti. V rámci práce se zjišťuje, zda určité počty autobusů není vhodné předisponovat na jiné odstavné plochy, čímž by došlo ke snížení neproduktivně ujeté vzdálenosti a tím také k úspor provozních nákladů.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

LUDVÍK, M. Allocation of Vehicle on Apron Optimization : *Master Thesis*  
Ostrava. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering,  
Institute of Transport, 2010, 69 p. Thesis head: Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

The thesis deals with drawing up a mathematical model for optimizing the allocation of buses in the parking spaces of Dopravní podnik Ostrava, a.s. (Ostrava Transport, joint-stock company). Non-productive rides occur before the bus service operation starts and after the last bus service operation ends, while the costs of these non-productive rides have a negative impact on the business results of the company. The paper determines whether or not a certain quantity of buses should be relocated to other parking spaces, thereby reducing non-productive mileage and hence saving the operating costs.

# Obsah

1	Úvod .....	10
2	Definování problému .....	11
3	Analýza odstavných ploch a skupin autobusů .....	12
3.1	Charakteristika odstavných ploch .....	12
3.1.1	Odstavná plocha Hranečnick .....	12
3.1.2	Odstavná plocha Martinov .....	13
3.1.3	Odstavná plocha Slavíkova .....	14
3.2	Charakteristika vozidlového parku z pohledu požadavků na odstavování vozidel .....	14
3.2.1	Skupina vozidel č. 1 .....	14
3.2.2	Skupina vozidel č. 2 .....	15
3.2.3	Skupina vozidel č. 3 .....	16
4	Příprava vstupních dat pro optimalizační výpočet .....	18
4.1	Analýza služebního jízdního řádu .....	18
4.2	Přeznačení názvů autobusových zastávek .....	20
4.3	Princip vzniku zastávkového vrcholu .....	22
4.4	Hodnoty nevyužitých kilometrů .....	25
4.5	Charakteristika vrcholů – odstavných ploch .....	27
4.6	Zastávkový vrchol .....	29
4.7	Hrana grafu .....	31
4.8	Rozdělení zastávkového vrcholu .....	32
5	Sestavení matematického modelu .....	34
5.1	Model s jedním zastávkovým vrcholem .....	34
5.2	Model s $n$ zastávkovými vrcholy .....	38
5.3	Modifikace matematického modelu .....	42
6	Realizace optimalizačního výpočtu .....	47
6.1	Vytvoření množiny odstavných ploch .....	47
6.2	Zmapování kapacit odstavných ploch .....	47
6.3	Vytvoření množiny zastávkových vrcholů .....	49
6.4	Zmapování požadavků zastávkových vrcholů .....	49
6.5	Sestavení matice vzdáleností mezi odstavnými plochami a zastávkovými vrcholy .....	50
6.6	Vložení dat do matematického modelu .....	52
6.7	Základní informace o řešícím software .....	54
6.8	Text programu řešeného problému .....	55
6.9	Vyhodnocení získaných výsledků .....	58



7	Porovnání dosažených výsledků .....	64
7.1	Porovnání dosažených výsledků z hlediska úspory neproduktivně ujeté vzdálenosti.....	64
7.2	Porovnání dosažených výsledků z hlediska úspory nákladů vyplývajících z úspory neproduktivně ujeté vzdálenosti.....	65
8	Závěr.....	66
	Seznam použité literatury .....	68
	Seznam příloh .....	69

# 1 Úvod

V této diplomové práci bude pozornost věnována sestavení matematického modelu pro optimalizaci přidělování autobusů odstavným plochám v podmínkách Dopravního podniku Ostrava a.s..

Autobusy nasazované na linky Dopravního podniku Ostrava a.s. mají v současné době přidělena určitá parkovací místa. Při nástupech na linku a odstupech po ukončení jejich obsluhy vznikají neproduktivní jízdy, přičemž náklady na tyto neproduktivní jízdy mají negativní vliv na hospodářský výsledek společnosti.

Cílem je tedy zjistit, zda některá vozidla není vhodné předisponovat na jiné odstavné plochy, čímž by došlo ke snížení neproduktivně ujeté vzdálenosti a tím také k úsporám provozních nákladů.

## 2 Definování problému

V dnešní době jsou autobusy Dopravního podniku Ostrava a.s. určitým způsobem přerozděleny odstavným plochám, které dopravní podnik využívá. Z těchto odstavných ploch se přistavují na počáteční zastávky, kde začínají oběhy na linkách a po skončení oběhů se odstavují zpět z koncových zastávek na tytéž odstavné plochy. Při uvedených přejezdech autobusy najedou nevyužité kilometry.

*Pozn.*

*Pojem nevyužité kilometry bude znamenat v této diplomové práci pouze kilometry, které autobus najede při přistavení z odstavné plochy na počáteční zastávku, kde bude začínat svůj oběh a rovněž po skončení tohoto oběhu se bude odstavovat z konečné zastávky (kde končí svůj oběh) na stejnou odstavnou plochu.*

Hlavním cílem předložené diplomové práce je posoudit, zda neexistuje takový způsob přerozdělení autobusů odstavným plochám, který by vedl k minimalizaci nevyužitých kilometrů při nástupech vozidel na linky a odstupu vozidel z linek na odstavné plochy. Při řešení je nutno respektovat určitá provozní omezení, kterými jsou požadavky, aby na každý oběh byl nasazen požadovaný typ vozidla, aby kapacity odstavných ploch, které podnik využívá, nebyly překročeny a požadavky, aby vozidla určených skupin parkovala společně na jedné odstavné ploše. Požadavek na společné parkování je vztažen ke dvěma skupinám vozidel. Dopravní podnik Ostrava a.s. požaduje, aby společně parkovala vozidla od výrobců Fiat a Mercedes Benz a druhou skupinou vozidel, která mají parkovat společně, tvoří vozidla značky Renault.

Návrh nového rozmístění autobusů odstavným plochám bude zpracován ke dni 8.9.2009 a to pro autobusy, které jsou přiděleny ranním, odpoledním a vybraným děleným kurzům, v případě dělených kurzů se rozumí jen ty, které jsou obsluhovány vozidly patřícími do skupin, které mají být odstavovány společně. Řešení budou podléhat pouze tři parkovací plochy, konkrétně se bude jednat o parkovací plochy Hranečník, Martinov a Slavíkova.

### **3 Analýza odstavných ploch a skupin autobusů**

V této kapitole bude pozornost věnována analýze tří odstavných ploch, které budou při řešení problému zdroji neproduktivních jízd při nástupech vozidel na oběhy a cíli neproduktivních jízd při návratech autobusů po ukončení oběhů. Dále bude rovněž věnována pozornost charakteristice vozidlového parku z pohledu požadavků na odstavování vozidel.

#### **3.1 Charakteristika odstavných ploch**

##### **3.1.1 Odstavná plocha Hranečník**

Odstavná plocha se nachází v městské části Slezská Ostrava, na ulici Hranečník. Autobusové garáže Hranečník vznikly adaptací původní vozovny MDOK (Místní dráha Ostrava – Karviná). Lokalita byla stavebně dokončena roku 1953. Od roku 1957 fungovaly garáže jako ústřední dílny tramvají typu T. Od 1.12.1968 fungují prostory jako autobusová provozovna Hranečník. Od 31.12.1970 byly pro autobusy adaptovány i původní ústřední dílny tramvají, které se přesunuly do areálu v Martinově. Navíc byly dne 1.9.2005 odstavné plochy v lokalitě dále rozšířeny o plochu bývalých kasáren, které sousedí s areálem. K rozšíření došlo po zrušení autobusových garáží umístěných v městské části Ostrava Fifejdy [1]. Na této odstavné ploše má Dopravní podnik Ostrava a.s. k dispozici 215 odstavných stání pro autobusy.

Pohled na lokalitu Ostrava Hranečník je uveden na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Odstavná plocha (garáže) Hranečník [2]

### 3.1.2 Odstavná plocha Martinov

Odstavná plocha se nachází v městské části Ostrava – Martinov na ulici Martinovská. Na této odstavné ploše má Dopravní podnik Ostrava a.s. k dispozici 70 odstavných stání pro autobusy.

Pohled na lokalitu Ostrava - Martinov je uveden na Obr. 3.2.



Obr. 3.2 Odstavná plocha (garáže) Martinov [2]



### 3.1.3 Odstavná plocha Slavíkova

Odstavná plocha se nachází v městské části Ostrava – Poruba na ulici Slavíkova. Na této odstavné ploše má Dopravní podnik Ostrava a.s. k dispozici 45 odstavných stání pro autobusy.

Pohled na lokalitu Ostrava - Poruba je uveden na Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Odstavná plocha (garáže) Slavíkova [2]

## 3.2 Charakteristika vozidlového parku z pohledu požadavků na odstavování vozidel

### 3.2.1 Skupina vozidel č. 1

První skupina autobusů bude tvořena všemi autobusy, které budou k řešení problému použity, kromě autobusů, které jsou zahrnuty ve druhé a třetí skupině. U první skupiny mohou být autobusy libovolně přerozděleny odstavným plochám, není

tedy uplatněn požadavek, že by vozidla musela být odstavována společně. Skupina vozidel zařazených do první skupiny bude v dalším textu označována jako skupina A.

### 3.2.2 Skupina vozidel č. 2

Do druhé skupiny autobusů budou zařazena vozidla značek Fiat typu Mave CiBus ENA MV 54A a Mercedes Benz typů 412 D a 411 CDI. Na skupinu vozidel č. 2 je kladen požadavek, že musí mít společnou odstavnou plochu (musí být odstavována na jedné odstavné ploše). V dalším textu bude tato skupina autobusů označena jako skupina B.

#### 3.2.2.1 Fiat Mave CiBus ENA MV 54A

Autobusy značky Fiat typu Mave CiBus ENA MV 54A jsou nasazovány k obsluze linek provozovaných Dopravním podnikem Ostrava a.s. od prosince roku 2007. Jedna se o typ vozidel vycházející z typu Fiat Ducato, který je vybaven motorem splňujícím emisní normu Euro 4. V současnosti jsou nasazovány k obsluze městských linek vyznačujících se nižšími požadavky na přepravní kapacitu. Dopravní podnik Ostrava a.s. v současnosti vlastní tři vozidla tohoto typu.

Autobus uvedeného typu je znázorněn na Obr. 3.4.[3]



Obr. 3.4 Fiat Mave CiBus ENA MV 54A [3]

### 3.2.2.2 Mercedes Benz 412 D a 411 CDI

Autobus uvedeného typu je znázorněn na Obr. 3.5. V roce 1999 začaly sloužit cestujícím na linkách s nižšími nároky na přepravní kapacitu dva vozy Mercedes Benz 412 D. V roce 2000 k nim přibýlo další vozidlo a v roce 2001 dvě vozidla 411 CDI[3].



Obr. 3.5 Autobus Mercedes Benz 412 D [3]

### 3.2.3 Skupina vozidel č. 3

Do třetí skupiny autobusů budou zařazena vozidla značky Karosa – Renault typu Citybus. Na skupinu vozidel č. 3 je kladen požadavek, a to, že musí mít společnou odstavnou plochu (musí být odstavována na jedné odstavné ploše). V dalším textu bude tato skupina autobusů označena jako skupina C.



### 3.2.3.1 Karosa – Renault Citybus

Autobus uvedeného typu je znázorněn na Obr. 3.6. První nízkopodlažní autobusy v ostravské MHD začaly cestujícím sloužit na konci roku 1996. V současnosti jezdí na linkách Dopravního podniku Ostrava a.s. 13 vozidel [3]. V roce 1994 odkoupila francouzská firma Renault akcie společnosti Karosa Vysoké Mýto. Konstrukteři z Renaultu sem ještě téhož roku dovezli karosérii Heuliez GX317 a vytvořili z ní prototyp autobusu Karosa-Renault Citybus [7].



Obr. 3.6 Karosa – Renault Citybus [3]

## 4 Příprava vstupních dat pro optimalizační výpočet

K řešení problémů optimálního přidělování vozidel odstavným plochám budou využity metody lineárního programování. Metody lineárního programování však vyžadují, aby data, která mají vazbu na řešený problém, byla zpracována do té formy, která umožňuje jejich efektivní nasazování do jednotlivých částí použitého matematického modelu.

Základním informačním zdrojem umožňujícím přípravu údajů potřebných pro optimalizační výpočet dle daného modelu jsou služební jízdní řády

Ze služebních jízdních řádů je možné identifikovat :

- číslo oběhu,
- typ autobusu, který daný oběh obsluhuje,
- délka neproduktivně ujeté trasy za účelem přistavení autobusu z odstavné plochy na zastávku, kde začíná obsluhovat první spoj určeného oběhu,
- délka neproduktivně ujeté trasy za účelem odstavení autobusu na odstavnou plochu, eventuálně doby, které vozidla k přejezdu potřebují.

V následující podkapitole budou podány základní informace o služebních jízdních řádech sestavovaných Dopravním podnikem Ostrava a.s..

### 4.1 Analýza služebního jízdního řádu

Služební jízdní řád je dopravní pomůckou pro řidiče, který jim usnadňuje orientaci o spojích, které mají v průběhu oběhu vozidla obsluhovat. Každý služební jízdní řád obsahuje své záhlaví, vlastní text služebního jízdního řádu, doplňující komentáře k dopravním informacím a pokyny pro příslušného řidiče. Na Obr. 4.1 je znázorněn příklad služebního jízdního řádu vypracovaného pro vozidlo obsluhující kmenovou linku č. 56 – kurz č. 202.

<div>Název střediska</div> <div>Číslo linky</div> <div>Provoz</div> <div>Datum platnosti</div>		<div>Provozovna</div> <div>Provoz</div> <div>Platí od 10. prosince 2006</div> <div>Kmenová linka / kurs</div>	
<div>Autobusy Hranečnick</div> <div>Pracovní den</div> <div>Jezdí na lince 56</div>		<div>56/202</div>	
<div>Nástup: 13:18</div> <div>Nástup: 061</div> <div>Kód</div>		<div>Ukončení: 23:19</div> <div>Ukončení</div> <div>Typ voz. Karosa (17m)</div>	
		<div>Kilometry: 223,387</div> <div>Kilometry: 223,387</div> <div>Výkony km: 223,387</div>	
		<div>Hodiny: 10,02</div> <div>Hodiny: 10,02</div> <div>Hod: 10,02</div>	
<div>Linka 56</div> <div>Kód cíle</div> <div>Km spoje</div>		<div>0298</div> <div>0298</div> <div>0298</div> <div>0298</div> <div>0298</div>	
<div>Hlučín sídliště</div> <div>Hlučín aut.nádraží</div> <div>Kostel</div> <div>Petřkovice náměstí</div> <div>Sad B.Němcové</div> <div>Jiřího Trnky</div> <div>Svinov mosty h.z.</div> <div>Alšovo náměstí</div>		<div>22,205</div> <div>21,036</div> <div>21,036</div> <div>22,303</div> <div>22,303</div>	
		<div>13:52s</div> <div>15:16</div> <div>18:00</div> <div>19:54</div> <div>21:54</div>	
		<div>14:01</div> <div>15:54</div> <div>18:09</div> <div>20:07</div> <div>22:07</div>	
		<div>14:06</div> <div>15:59</div> <div>18:14</div> <div>20:12</div> <div>22:12</div>	
		<div>14:14</div> <div>16:07</div> <div>18:22</div> <div>20:19</div> <div>22:19</div>	
		<div>14:21</div> <div>16:19</div> <div>18:34</div> <div>20:30</div> <div>22:30</div>	
		<div>14:30</div> <div>16:19</div> <div>18:34</div> <div>20:30</div> <div>22:30</div>	
		<div>14:41</div> <div>16:30</div> <div>18:45</div> <div>20:40</div> <div>22:39</div>	
<div>Linka 56</div> <div>Kód cíle</div> <div>Km spoje</div>		<div>0316</div> <div>0316</div> <div>0316</div> <div>0459</div> <div>0459</div> <div>0927</div>	
<div>Alšovo náměstí</div> <div>Svinov mosty h.z.</div> <div>Mariánskohorská</div> <div>Sad B.Němcové</div> <div>Petřkovice náměstí</div> <div>Kostel</div> <div>Hlučín aut.nádraží</div> <div>Hlučín sídliště</div> <div>garáže Počáteční</div>		<div>10,505</div> <div>21,182</div> <div>21,182</div> <div>22,418</div> <div>22,418</div> <div>16,799</div>	
		<div>14:44A</div> <div>16:42A</div> <div>18:57s</div> <div>20:57s</div> <div>22:41s</div>	
		<div>14:55</div> <div>16:53</div> <div>19:08</div> <div>21:07</div> <div>23:04</div>	
		<div>15:01</div> <div>16:59</div> <div>19:14</div> <div>21:13</div> <div>23:04</div>	
		<div>13:18A</div> <div>15:07</div> <div>17:06</div> <div>19:20</div> <div>21:19</div>	
		<div>13:25</div> <div>15:14</div> <div>17:12</div> <div>19:27</div> <div>21:26</div>	
		<div>13:30</div> <div>15:19</div> <div>17:17</div> <div>19:32</div> <div>21:31</div>	
		<div>13:39</div> <div>15:28</div> <div>17:26</div> <div>19:41</div> <div>21:40</div>	
		<div>13:44</div> <div>15:33</div> <div>17:31</div> <div>19:44</div> <div>21:43</div>	
		<div>23:04</div>	
<div>Š - režijní jízda bez cestujících</div> <div>A - Hlučín aut. nádraží</div> <div>J - jede přes J.Trnky</div> <div>S - Hlučín sídliště</div>		<div>Přestávky v délce 10 a více minut jsou bezpečnostní přestávky (BP). V případě, že u těchto BP nelze čerpat celou předepsanou dobu, zaznamená to zaměstnanec do jízdního výkazu a oznámí tuto skutečnost centrálnímu dispečinku. Podpisem jízdního výkazu zaměstnanec potvrzuje, že bezpečnostní přestávky řádně čerpa</div>	
<div>PD 56-101</div> <div>PD 56-201</div> <div>PD 56-102</div> <div>PD 56-202</div> <div>PD 56-103</div> <div>PD 56-203</div> <div>PD 56-104</div> <div>PD 56-204</div>			

Obr. 4.1 Příklad služebního jízdního řádu [4]

Jak je z uvedeného obrázku patrné, záhlaví obsahuje název střediska, číslo linky, provoz, datum platnosti, nástup, ukončení, kód, typ vozidla, hodiny, kilometry a denní dopravní výkon kurzu č. 202. Vlastní text služebního jízdního řádu pak obsahuje údaje o jednotlivých spojích, přičemž pro potřeby předložené práce je nejdůležitějším údajem počet kilometrů, které vozidlo ujede mezi odstavnou plochou a první obsluhovanou zastávkou, a poslední obsluhovanou zastávkou a odstavnou plochou. Dalšími významnými informacemi obsazenými ve vlastním textu služebního jízdního řádu jsou časy odjezdu obsluhovaných spojů z významných zastávek. Co se týče doplňujících komentářů k dopravním informacím a pokynům pro řidiče, ty zpravidla obsahují informace o čerpání bezpečnostních přestávek a jejich zaznamenávání do jízdních výkazů a případné další informace související s administrativním vykazováním provedených výkonů.

## 4.2 Přeznačení názvů autobusových zastávek

Po fázi zpracování potřebných služebních jízdních řádů bylo přistoupeno k zavedení symboliky vztahující se k místům významným z hlediska zdrojů a cílů neproduktivních jízd.

Významnými místy budou pochopitelně lokality, ve kterých jsou umístěny odstavné plochy a zastávky, které jsou dotčenými vozidly obsluhovány jako první nebo poslední. Z celkového počtu 522 zastávek, které obsluhují spoje Dopravního podniku Ostrava a.s., je pro optimalizační výpočet rozhodující 53 zastávek.

Při řešení optimalizačního výpočtu nebudou používány názvy zastávek uvedené v jízdních řádech, bude používána pouze zkrácena symbolika typu ZX, ve které na pozici symbolu X bude pořadové číslo zastávky. Zastávky budou číslovány podle abecedy, první zastávkou (zastávkou nesoucí označení Z1) bude zastávka *Alšovo náměstí*, poslední zastávkou (nesoucí označení Z53) bude *Výškovice-2*. Přehled zastávek důležitých z hlediska řešené úlohy je uveden v Tab. 4.1. Jak je z Tab. 4.1 patrné, zastávka *Výškovice* je rozdělena na dvě dílčí zastávky, tudíž vznikne zastávka s pracovním označením *Výškovice-1* a *Výškovice-2*.

I když se z hlediska jízdního řádu jedná o stejnou zastávku, vztahují se k ní dvě různé hodnoty nevyužitých kilometrů při přistavení (odstavení). Použití dvou těchto různých hodnot je logické, protože zastávka *Výškovice* je tvořena více stanovišti, kde vozidla zastavují.

Při vlastním řešení definovaného problému bude použito ještě jednoho pojmu zaváděného pouze pro potřeby řešení, jedná se o pojem zastávkový vrchol.

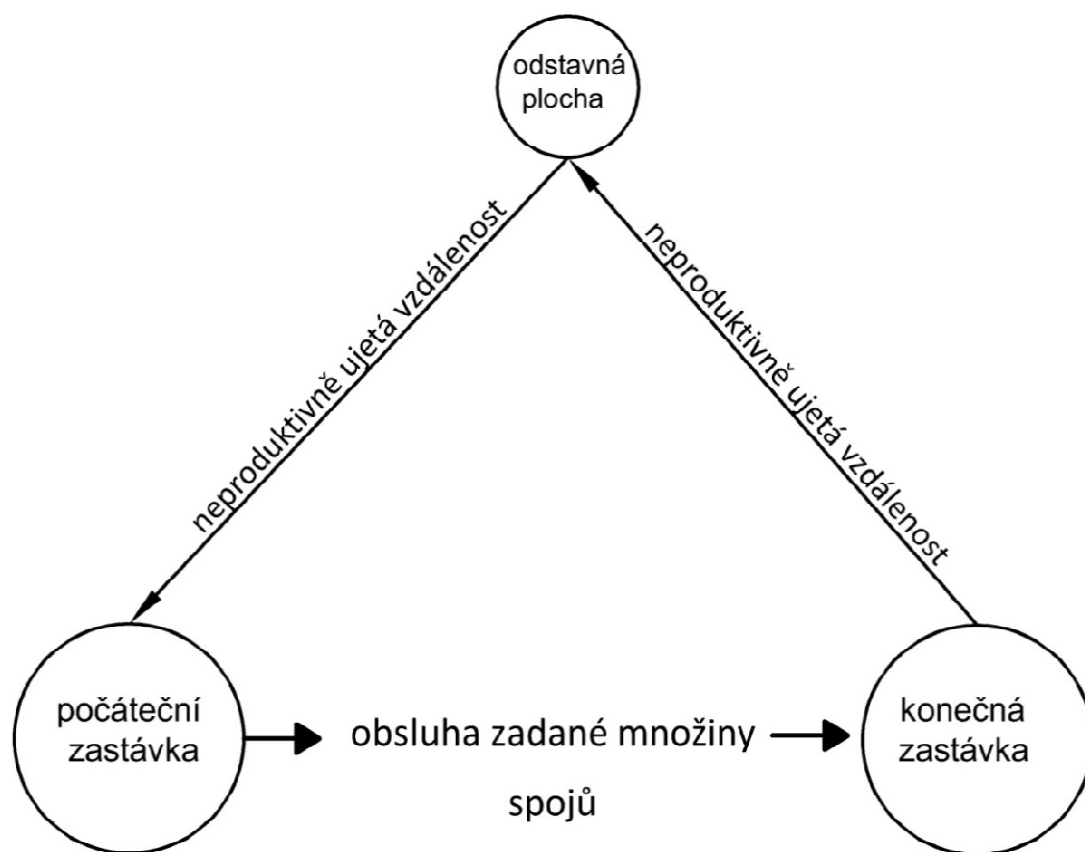
Princip tvorby zastávkového vrcholu vyplývá z Obr. 4.2 a Obr. 4.3.

Tab. 4.1. Přeznačení názvů zastávek

Název zastávky	Označení	Název zastávky	Označení
Alšovo náměstí	Z1	Paseky	Z28
Bartovice Pod Tratí	Z2	Petřkovice náměstí	Z29
Bazaly	Z3	Plesná	Z30
Frýdecká	Z4	Polanka	Z31
Garáže Hranečnick	Z5	Poliklinika	Z32
Hlavní nádraží	Z6	Poruba vozovna	Z33
Hlučín aut.nádraží	Z7	Proskovice	Z34
Hotel Bělský les	Z8	Pustkovec	Z35
Hotel.dům Hlubina	Z9	Pustkovecká	Z36
Hrabová zóna jih	Z10	Radnice Poruba	Z37
Hranečnick	Z11	Rovniny U Vodárny	Z38
Kostel	Z12	Řecká	Z39
Kotva	Z13	Sad B.Němcové	Z40
Křížíkova	Z14	Sámová	Z41
Ludvíkova	Z15	Slavíkova	Z42
Mariánské Hory	Z16	Sokola Tůmy	Z43
Martinov střed	Z17	Studentská	Z44
Městská nemocnice	Z18	Studentské koleje	Z45
Michálkovice	Z19	Svinov mosty d.z.	Z46
Mírové náměstí	Z20	Svinov nádraží	Z47
Mitrovce	Z21	Šídlovec	Z48
Muglinovská	Z22	Třebovice Tesco	Z49
Náměstí Republiky	Z23	ÚAN	Z50
Nordpól	Z24	Vratimovská	Z51
Nová huť hl.brána	Z25	Výškovice-1	Z52
Opavská	Z26	Výškovice-2	Z53
Otakara Jeremiáše	Z27		

### 4.3 Princip vzniku zastávkového vrcholu

Hodnoty neproduktivně ujetých vzdáleností je možno vyčíst, jak již bylo zmíněno, ze služebních jízdních řádů. Například v případě služebního jízdního řádu kmenové linky 56, kurzu 202, znázorněného na obr. 4.1, je vidět neproduktivně ujetá vzdálenost související s návratem vozidla na odstavnou plochu, který začíná ve 22:41 hod. odjezdem ze zastávky Alšovo Náměstí. Délka neproduktivně ujeté trasy v tomto případě činí 16,799 km a je uvedena ve sloupci týkajícím se uvedené jízdy. Podobně by se postupovalo při zjištění délky neproduktivně ujeté trasy související se začátkem oběhu. Tuto délku by v případě zmiňovaného služebního jízdního řádu bylo možno nalézt pod kmenovou linkou 56 kurzem 102 (kombinace kurzů 102, 202 reprezentuje celodenní oběh vozidla).



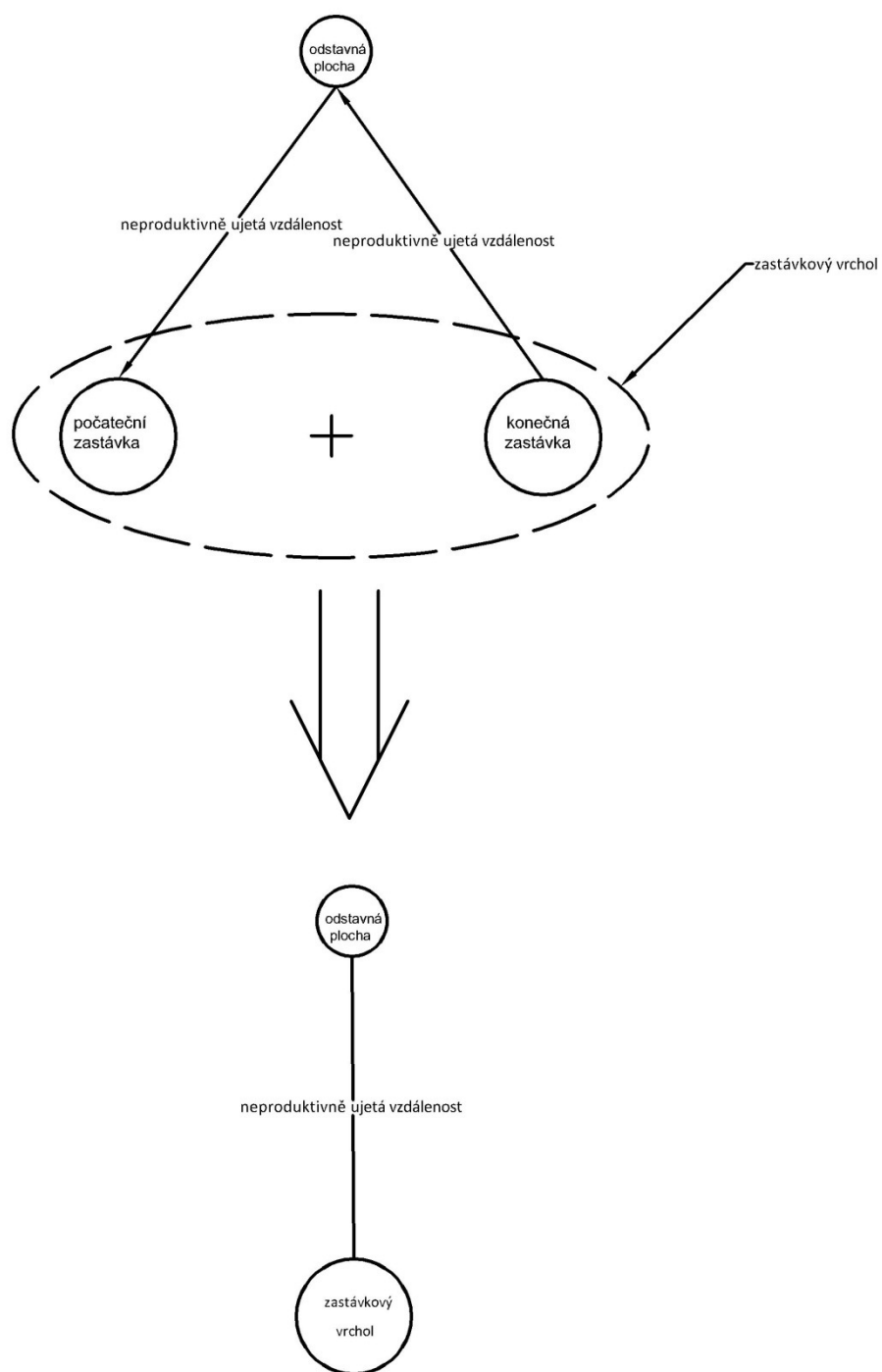
Obr. 4.2 Graf znázorňující přistavení a odstavení autobusu na a z oběhu

Na obrázku Obr. 4.2 vrcholy grafu reprezentují skutečná stanoviště – odstavnou plochu, zastávku, na které vozidlo začíná obsluhovat první spoj po odjezdu z odstavné plochy a zastávku, na které vozidlo končí obsluhu posledního spoje před návratem na odstavnou plochu. Orientovaná hrana vystupující z vrcholu s názvem odstavná plocha a vstupující do vrcholu s názvem počáteční zastávka reprezentuje trasu, kterou musí vozidlo neproduktivně ujet, aby mohla být započata obsluha prvního spoje daného oběhu. Vozidlo končí obsluhu posledního spoje před návratem na odstavnou plochu. Orientovaná hrana vystupující z vrcholu s názvem konečná zastávka a vstupující do vrcholu s názvem odstavná plocha reprezentuje trasu, kterou musí vozidlo neproduktivně ujet při návratu na odstavnou plochu. Orientované hrany mezi vrcholy počáteční zastávka a konečná zastávka reprezentují trasy, které musí vozidlo ujet při obsluze spojů daného oběhu eventuálně přejezdů mezi těmito spoji (tyto trasy však nejsou předmětem optimalizace). Ohodnocení hran, pak reprezentují délky výše uvedených tras.

V podmínkách Dopravního podniku Ostrava a.s. se vyskytují i situace, kdy výše uvedené první nebo poslední zastávky leží v bezprostřední blízkosti odstavných ploch (před areály Dopravního podniku Ostrava a.s., v nichž se odstavné plochy nacházejí). V uvedených případech budou hodnoty délek neproduktivně ujetých tras nulové.

Pro potřeby matematického modelu, kterého bylo použito k řešení (viz kapitola 5), budou obě hodnoty sloučeny do jedné, která vznikne jejich součtem. Získanou hodnotu je možno interpretovat tak, že se jedná o celkovou délku trasy, kterou vozidlo musí ujet před nástupem k obsluze prvního spoje a po ukončení obsluhy posledního spoje daného oběhu. Vypočítané součty budou odpovídat hodnotám koeficientů účelové funkce matematického modelu použitého k řešení.

Zastávkový vrchol tedy vznikne sloučením dvou vrcholu původních, a to vrcholu nesoucího označení počáteční zastávka a vrcholu nesoucího označení konečná zastávka, jak je vidět na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Graf znázorňující transformaci počáteční a konečné zastávky do zastávkového vrcholu



## 4.4 Hodnoty nevyužitých kilometrů

Údaje ze služebních jízdních řádů platných k 8.9.2009, které jsou podkladem pro optimalizační výpočet, byly zpracovány do tabulek Tab 4.2 až 4.7, přičemž tabulky Tab. 4.3 až 4.7 jsou uvedeny v příloze č.2 diplomové práce.

Ze služebních jízdních řádů bylo možno zjistit pouze délky neproduktivně ujetých jízd, které se vyskytovaly v době, ke které je řešení vztaženo. Ne všechny údaje však byly k dispozici, z toho důvodu musely být dodatečně dohledány ve spolupráci se zaměstnanci Dopravního podniku Ostrava a.s.. Legenda k tabulkám Tab. 4.2 až 4.7 V následujícím textu bude provedena věcná interpretace hodnot uvedených v tabulce 4.2.

V tomto odstavci bude uvedena na příkladu řádku č. 9 věcná interpretace údajů shrnutých v tabulce Tab. 4.2. Jedná se o autobus zařazený do skupiny A obsluhující linku 22. Vozidlo je v současné době přiřazeno odstavné ploše Hranečnick, v rámci denního oběhu se přistavuje z odstavné plochy Hranečnick na počáteční zastávku *Z11(Hranečnick)* pod kurzem číslo 101, kde začíná svůj oběh. Po ukončení oběhu se odstavuje z konečné zastávky *Z11(Hranečnick)* pod kurzem číslo 201 na odstavnou plochu Hranečnick. Při přiřazení vozidla odstavné ploše Hranečnick bude délka neproduktivně ujeté trasy 0,804 km. Bude-li uvedené vozidlo přiřazeno odstavné ploše Martinov, bude nuceno neproduktivně ujet trasu o délce 25,900 km a při přiřazení odstavné ploše Slavíkova, pak trasu o délce 25,100 km za pracovní den.

Tab. 4.2 Tabulka nevyužitých kilometrů

A	B	C	D	Z <sub>k</sub>	Z <sub>k</sub>	H	M	S	T	E
1	20	101	Nejezdí 8.9.2009						A	M
2	21	101	201	Z4	Z50	9.949	27.000	23.660	A	H
3	21	102	202	Z4	Z50	9.949	27.000	23.660	A	H
4	21	103	203	Z50	Z23	10.503	20.720	19.900	A	H
5	21	404							A	H
6	21	405							A	H
7	21	406							A	H
8	21	407							A	H
9	22	101	201	Z11	Z11	0.804	25.900	25.100	A	H
10	22	402							A	H
11	22	403							A	H
12	23	101	201	Z11	Z11	0.804	25.900	25.100	A	H
13	23	102	202	Z11	Z11	0.804	25.900	25.100	A	H
14	23	403							A	H
15	23	404							A	H
16	24	401							A	H
17	24	402							A	H
18	24	403							A	H
19	24	404							A	H
20	24	405							A	H
21	25	401							A	H
22	26	401							A	H
23	26	402							A	H
24	27	101	201	Z34	Z32	28.328	27.555	26.445	A	H
25	27	102	202	Z34	Z34	32.818	29.655	28.300	A	H
26	27	421							A	H
27	27	422							A	H
28	28	101	201	Z11	Z11	0.804	25.900	25.100	A	H
29	28	102	202	Z11	Z11	0.804	25.900	25.100	A	H
30	28	103	103	Z5	Z50	4.802	26.900	23.560	A	H
31	28	203	203	Z14	Z14	9.752	21.600	20.600	A	H
32	28	404							A	H
33	28	405							A	H
34	28	406							A	H
35	29	101	201	Z11	Z11	0.804	25.900	25.100	A	H
36	29	102	202	Z3	Z3	8.430	23.500	22.600	A	H
37	29	103	203	Z11	Z15	5.394	30.500	29.700	A	H
38	29	404							A	H
39	30	101	201	Z3	Z3	8.430	23.500	22.600	A	H
40	30	402							A	H
41	30	403							A	H
42	30	404							A	H
43	31	101	201	Z53	Z51	17.990	27.233	24.851	A	H
44	31	102	202	Z53	Z51	17.990	27.233	24.851	A	H
45	31	403							A	H
46	31	404							A	H
47	31	405							A	H
48	31	406							A	H
49	31	407							A	H

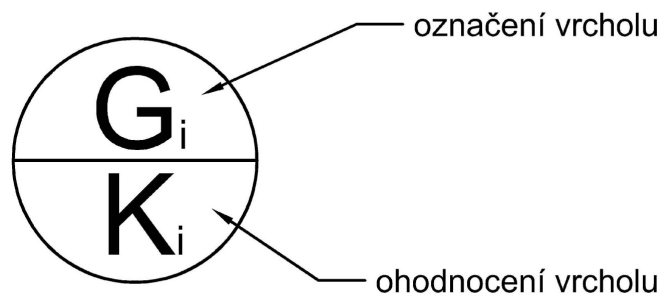
Legenda:

- A...číslo řádku tabulky – pořadové číslo vozidla (*pozn. neshoduje se s evidenčním číslem vozidla*),
- B...číslo linky,
- C...číslo kurzu linky, pod kterým se přistavuje autobus z odstavné plochy na počáteční zastávku oběhu,
- D...číslo kurzu linky, pod kterým se odstavuje autobus na odstavnou plochu z konečné zastávky oběhu,
- $Z_k$ ...(první sloupec  $Z_k$  zleva) označení počáteční zastávky, na kterou se autobus přistavuje z odstavné plochy,
- $Z_k$ ...(druhý sloupec  $Z_k$  zleva) označení konečné zastávky, ze které se autobus odstavuje na odstavnou plochu,
- H...neproduktivně ujetá vzdálenost při přiřazení vozidla odstavné ploše Hranečník,
- M...neproduktivně ujetá vzdálenost při přiřazení vozidla odstavné ploše Martinov,
- S...neproduktivně ujetá vzdálenost při přiřazení vozidla odstavné ploše Slavíkova,
- T...zařazení autobusu obsluhující tento oběh do skupiny (A,B nebo C),
- E...původní přidělení autobusu odstavné ploše (H-odstavná plocha Hranečník, M-odstavná plocha Martinov, S- odstavná plocha Slavíkova a J- odstavná plocha Jednota).

Jak je z Tab. 4.2 patrné, u některých vozidel nejsou řádky v tabulce kompletně vyplněny, jedná se totiž o vozidla, jejichž neproduktivní jízdy nebudou zařazeny do optimalizačního výpočtu.

## 4.5 Charakteristika vrcholů – odstavných ploch

Ze zadání je známo, že počet použitých odstavných ploch v optimalizačním výpočtu bude  $m = 3$ . Obecné označení vrcholů sítě reprezentujících odstavné plochy bude  $G_i$ , pro  $i \in I$ , kde  $I$  je množina odstavných ploch. Pro označení vrcholů – odstavných ploch byla zvolena schematická značka znázorněná na Obr. 4.4. Symbol  $K_i$  reprezentuje kapacitu i-té odstavné plochy a symbol  $G_i$  reprezentuje označení i-té odstavné plochy, viz Obr. 4.4.



Obr. 4.4 Vrchol znázorňující odstavnou plochu  $G_i$  o kapacitě  $K_i$

Odstavným plochám bude tedy přiřazeno následující označení :

- odstavná plocha Hranečník.... $G_1$ ,
- odstavná plocha Martinov..... $G_2$ ,
- odstavná plocha Slavíkova..... $G_3$ .

Kapacity odstavných ploch jsou známy rovněž ze zadání. Jednotlivé odstavné plochy mají následující celkové kapacity:

- celková kapacita odstavné plochy Hranečník .....215 míst,
- celková kapacita odstavné plochy Martinov .....70 míst,
- celková kapacita odstavné plochy Slavíkova .....45 míst.

Pro zjednodušení se předpokládá, že vozidlo každého typu obsadí jedno parkovací místo. Není-li uvedený předpoklad splněn, lze matematický model pochopitelně vhodným způsobem upravit. Například při umístění kloubového autobusu by se od celkové kapacity odečítala dvě parkovací místa a pod. Na tomto místě je však nutno zmínit ještě jednu skutečnost a to, že v rámci optimalizačního výpočtu nebudou vystupovat v případě jednotlivých odstavných ploch jejich celkové kapacity, ale pouze části jejich celkových kapacit. Předložená práce totiž neřeší rozmísťování všech autobusů, které jsou pravidelně nasazovány k obsluhám jednotlivých oběhů. Tedy u určité množiny vozidel zůstane stávající přiřazení zachováno. Z uvedeného důvodu je nutno celkové kapacity odstavných ploch redukovat o kapacity, které musí zůstat k dispozici pro vozidla, která nejsou předmětem optimalizace. Redukované kapacity budou uvedeny v kapitole věnované realizaci výpočtu.

## 4.6 Zastávkový vrchol

Druhá podmnožina množiny vrcholů reprezentuje množinu zastávkových vrcholů. Jak již bylo uvedeno, zastávkový vrchol vznikne sloučením počáteční a koncové zastávky oběhu.

Za účelem jednoznačné identifikace zastávkových vrcholů budou tyto vrcholy slučující v sobě zastávky pro přistavení a odstavení autobusů označeny symbolem  $N_j$ , pro  $j \in J$ , kde  $J$  je množina zastávkových vrcholů. Počet přistavení a odstavení autobusů na daný zastávkový vrchol  $N_j$  bude reprezentován označením vrcholů  $B_{jp}$ , pro  $j \in J$ , kde  $J$  je množina zastávkových vrcholů a  $p \in P$ , kde  $P$  je množina skupin autobusů. Je zřejmé, že počet přistavení bude roven počtu odstavení. Symbol  $B_{jp}$  představuje požadavek zastávkového vrcholu  $N_j$  na počet vozidel typu  $p$ . Schématická značka zastávkového vrcholu je znázorněna na obrázku Obr. 4.5.

V následující tabulce Tab. 4.8 je uveden přehled zastávkových vrcholů vytvořených pro optimalizační výpočet a jejich vazba na dvojice počátečních a konečných zastávek, na kterých začínají a končí oběhy jednotlivých vozidel.

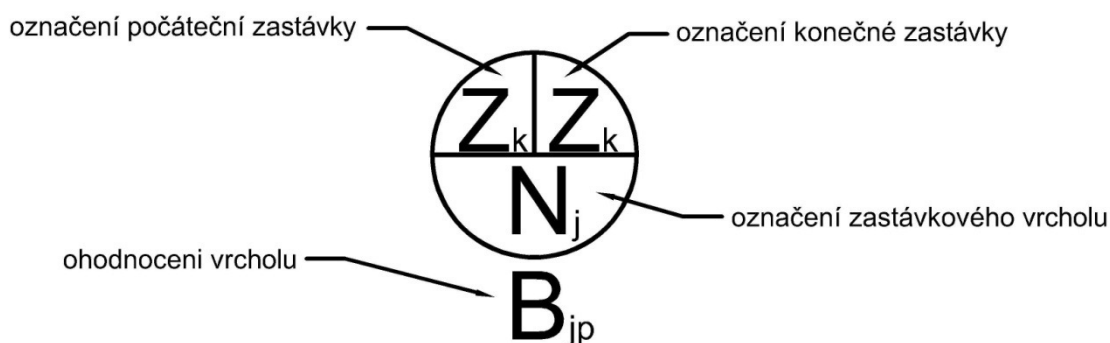
Tab. č. 4.8 Označení zastávkových vrcholů

označení zastávkového vrcholu $N_j$	zastávkový vrchol		označení zastávkového vrcholu $N_j$	zastávkový vrchol	
	počáteční zastávka $Z_k$	konečná zastávka $Z_k$		počáteční zastávka $Z_k$	konečná zastávka $Z_k$
N1	Z1	Z1	N38	Z35	Z46
N2	Z1	Z40	N39	Z36	Z33
N3	Z10	Z32	N40	Z37	Z45
N4	Z11	Z11	N41	Z37	Z37
N5	Z11	Z15	N42	Z38	Z7
N6	Z12	Z6	N43	Z39	Z39
N7	Z13	Z32	N44	Z39	Z1
N8	Z14	Z14	N45	Z4	Z50
N9	Z16	Z32	N46	Z40	Z48
N10	Z16	Z17	N47	Z40	Z16
N11	Z17	Z37	N48	Z42	Z45
N12	Z18	Z18	N49	Z42	Z42
N13	Z19	Z11	N50	Z42	Z1
N14	Z2	Z2	N51	Z43	Z43
N15	Z21	Z20	N52	Z45	Z44
N16	Z22	Z40	N53	Z45	Z50
N17	Z24	Z29	N54	Z45	Z45
N18	Z25	Z41	N55	Z46	Z46
N19	Z26	Z27	N56	Z47	Z31
N20	Z26	Z26	N57	Z49	Z27
N21	Z26	Z42	N58	Z5	Z50
N22	Z27	Z27	N59	Z5	Z5
N23	Z27	Z41	N60	Z50	Z23
N24	Z27	Z47	N61	Z50	Z50
N25	Z27	Z43	N62	Z50	Z11
N26	Z28	Z14	N63	Z52	Z21
N27	Z3	Z3	N64	Z52	Z52
N28	Z30	Z42	N65	Z53	Z51
N29	Z30	Z37	N66	Z53	Z53
N30	Z31	Z33	N67	Z53	Z48
N31	Z31	Z47	N68	Z7	Z40
N32	Z31	Z46	N69	Z7	Z1
N33	Z32	Z32	N70	Z8	Z13
N34	Z32	Z16	N71	Z8	Z32
N35	Z32	Z34	N72	Z9	Z48
N36	Z34	Z32	N73	Z9	Z32
N37	Z34	Z34			

Podkladem pro vznik Tab. č. 4.8 jsou Tab. č. 4.2 až 4.7, které jsou uvedeny v kapitole 4.4 a příloze č.2 této práce.

Například zastávkový vrchol  $N_4$  reprezentuje všechny oběhy, které začínají na zastávce Z11 a končí na zastávce Z11. Podle Tab. 4.1 jde o všechny oběhy, které začínají a končí na zastávce Hranečník. Jak je z Tab. 4.8 patrné, vzniklo z původních 53 zastávek 73 zastávkových vrcholů.

Schematické označení zastávkového vrcholu je uvedeno na Obr. 4.5.



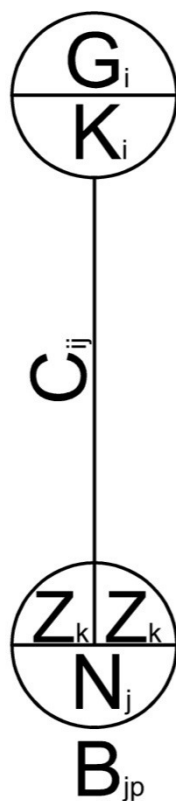
Obr. 4.5 Obecné označení zastávkového vrcholu

## 4.7 Hrana grafu

Hrany v grafu budou znázorňovat trasy vztahující se k odstavným plochám a zastávkovým vrcholům. Délka trasy mezi odstavnou plochou  $G_i$  a zastávkovým vrcholem  $N_j$  bude označena symbolem  $C_{ij}$ .

Označení  $C_{ij}$  bude reprezentovat ohodnocení příslušné hrany spojující odstavnou plochu  $G_i$  a zastávkový vrchol  $N_j$ .

Schematická značka hrany včetně jejího ohodnocení je znázorněna na Obr. 4.6.



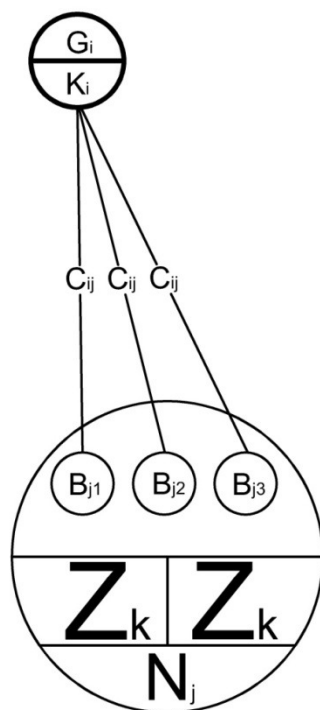
Obr. 4.6 Symbolické označení vazby mezi odstavnou plochou  $G_i$  a zastávkovým vrcholem  $N_j$  s vyznačením ohodnocení hrany

## 4.8 Rozdělení zastávkového vrcholu

Protože vozidla druhé a třetí skupiny autobusů musí být odstavována společně, je zapotřebí rozdělit množinu požadavků zastávkového vrcholu na tři podmnožiny.

Rozdělení požadavku zastávkového vrcholu je schématicky znázorněno na obrázku Obr. 4.7. První podmnožině bude odpovídat požadavek o velikosti  $B_{j1}$  (půjde o počet vozidel skupiny A), druhé podmnožině bude odpovídat požadavek o velikosti  $B_{j2}$  (půjde o počet vozidel skupiny B) a třetí podmnožině bude odpovídat požadavek o velikosti  $B_{j3}$  (půjde o počet vozidel skupiny C).





Obr. 4.7 Graf reprezentující rozdělení požadavku zastávkového vrcholu podle typů nasazovaných vozidel

## 5 Sestavení matematického modelu

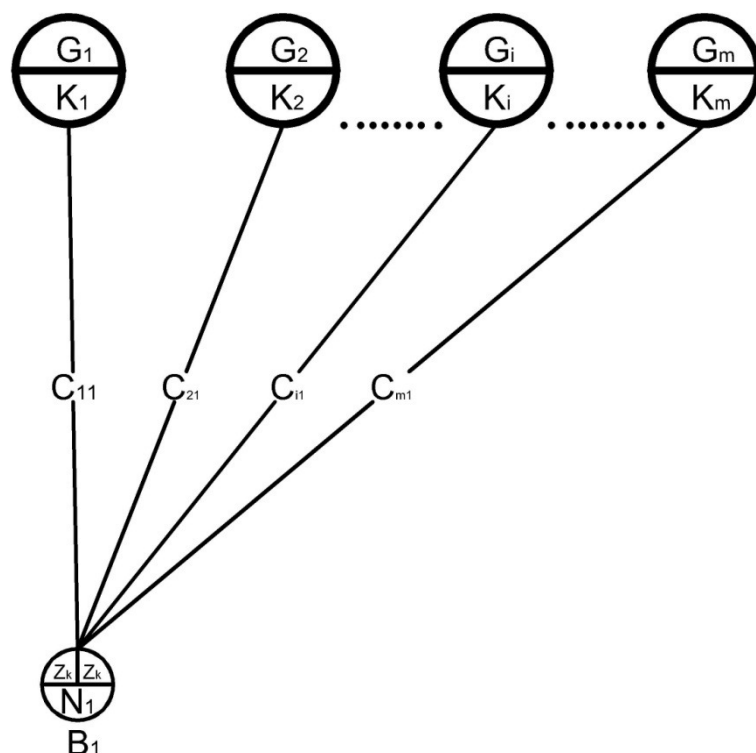
Předmětem kapitoly 5 bude tvorba matematického modelu, jehož řešením bude získáno optimální přiřazení vybrané skupiny vozidel odstavným plochám.

V první části kapitoly 5 bude uveden postup tvorby matematického modelu dopravní úlohy, který je základem pro model řešeného problému. Oba modely budou vytvářené postupně tak, aby byl patrný mechanismus vzniku jednotlivých částí modelů, tj. účelových funkcí a soustav omezujících podmínek.

### 5.1 Model s jedním zastávkovým vrcholem

Matematický model začne matematickou formulací situace, kdy je k dispozici konečný počet odstavných ploch označených  $G_1, G_2, \dots, G_m$  ( $m$  je počet odstavných ploch) a jen jeden zastávkový vrchol  $N_1$ . Pro zjednodušení postupu konstrukce modelu je uvažováno s jedním typem vozidla. Pro každou odstavnou plochu  $i \in I$ , kde  $I$  je množina odstavných ploch, je k dispozici informace o její kapacitě  $K_i$  a dále je známa velikost požadavku  $B_1$  zastávkového vrcholu  $N_1$ .

Situace je znázorněna na Obr. 5.1.



Obr. 5.1 Grafická reprezentace dopravní úlohy s jedním zastávkovým vrcholem

Model dopravní úlohy má tři základní tvary – tvar pro vybilancovanou úlohu a dva tvary pro nevybilancovanou úlohu – s přebytkem kapacit zdrojů a přebytkem požadavků spotřebitelů. Protože v případě řešeného problému je součet kapacit odstavných ploch vyšší, než součet požadavků zastávkových vrcholů, jedná se o nevybilancovanou dopravní úlohu s přebytkem kapacit zdrojů. Tomuto typu nevybilancované dopravní úlohy bude přizpůsoben i postup popisovaný v následujících odstavcích.

V případě úlohy o  $m$  odstavných plochách a jednom zastávkovém vrcholu (s jedním typem vozidla) bude tedy platit:

$$K_1 + K_2 + \dots + K_m > B_1 \quad [1.1]$$

zjednodušeným zápisem je :

$$\sum_{i \in I} K_i > B_1 \quad [1.2]$$

Omezující podmínky, jak platí v případě nevybilancované dopravní úlohy s přebytkem kapacit zdrojů (v řešeném případě odstavných ploch), bez přídavných

omezení, musí zajistit, aby kapacita žádného zdroje (odstavné plochy) nebyla překročena a počet požadavků spotřebitele (zastávkového vrcholu) byl splněn. Rovněž musí být dodrženy podmínky nezápornosti proměnných, které se v úloze vyskytují.

Proměnné v případě řešené situace modelují objemy přepravy realizované v jednotlivých relacích. V případě řešeného problému budou objemům přeprav odpovídat počty vozidel, přejíždějících mezi jednotlivými odstavnými plochami a zastávkovými vrcholy. Hodnoty proměnných  $x_{i1}$  pro  $i \in I$ , kde  $I$  je množina odstavných ploch, odpovídá počtu možných přejezdů mezi odstavnými plochami a zastávkovým vrcholem 1. Počet přípustných relací, to je také počet proměnných  $x_{i1}$  je roven  $m$ .

Vlastní konstrukce matematického modelu začne sestavou účelové funkce, ve které se minimalizují najeté nevyužité kilometry. Najeté nevyužité kilometry mezi odstavnými plochami ( $G_1, G_2, \dots, G_m$ ) a prvním zastávkovým vrcholem  $N_1$  závisí na počtu jízd a neproduktivně ujeté vzdálenosti vztahující se k příslušné relaci. Jednotlivé členy účelové funkce budou mít tvar  $C_{i1}x_{i1}$ . Protože existuje v rámci zadané úlohy  $m$  přípustných relací, musí mít také účelová funkce  $m$  členů. Účelová funkce bude mít tvar viz rovnice [1.3] nebo úsporněji zapsaná viz rovnice [1.4].

$$\min f(x) = C_{11}x_{11} + C_{21}x_{21} + \dots + C_{m1}x_{m1} \quad [1.3]$$

$$\min f(x) = \sum_{i \in I} C_{i1}x_{i1} \quad [1.4]$$

Věnujme se nyní konstrukci omezujících podmínek. Omezující podmínky musí zajišťovat, aby kapacity odstavných ploch nebyly překročeny a požadavek zastávkového vrcholu byl splněn.

Co se týče podmínek prvního typu, to je podmínek zajišťujících nepřekročení kapacit odstavných ploch a jejich formulace pomocí matematického zápisu, stačí si uvědomit vztah těchto množství k proměnné  $x_{i1}$ , která udává počet jízd autobusů mezi odstavnou plochou  $G_i$  a zastávkovým vrcholem  $N_1$  a fakt, že v rámci naší úlohy lze autobusy přidělit libovolným odstavným plochám. Kapacitní podmínku vztahující se k odstavné ploše  $G_i$  tedy lze vyjádřit nerovnicí [1.5].

$$x_{11} \leq K_1 \quad [1.5]$$

Analogicky se formulují omezující podmínky pro ostatní odstavné plochy viz nerovnice [1.6], ..., [1.7].

$$x_{21} \leq K_2 \quad [1.6]$$

$$\vdots$$

$$x_{m1} \leq K_m \quad [1.7]$$

Obdobným způsobem lze zapsat podmínky vztahující se ke splnění požadavku zastávkového vrcholu  $N_j$ . Počet autobusů, který vypravíme z jednotlivých odstavných ploch musí odpovídat stanovenému požadavku.

Uvedené omezení lze matematicky zformulovat pomocí rovnice viz [1.8] (rozepsaný tvar) nebo rovnice ve tvaru viz [1.9] (zkrácený tvar).

$$x_{11} + x_{21} + \dots + x_{m1} = B_1 \quad [1.8]$$

$$\sum_{i \in I} x_{i1} = B_1 \quad [1.9]$$

Doplní-li se soustava omezujících podmínek o obligatorní podmínky, viz [1.10] nebo zapsány v úspornějším tvaru viz [1.11], je matematický model zadané dopravní úlohy sestaven.

$$x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1} \geq 0 \quad [1.10]$$

$$x_{i1} \geq 0 \text{ pro } i \in I \quad [1.11]$$

Matematický model má tedy tvar (číslování vztahů v rekapitulaci matematického modelu odpovídá číslování vztahů zavedenému v předchozím textu) :

$$\min f(x) = C_{11}x_{11} + C_{21}x_{21} + \dots + C_{m1}x_{m1} \quad [1.3]$$

$$\min f(x) = \sum_{i \in I} C_{i1}x_{i1} \quad [1.4]$$

za podmínek :

$$x_{11} \leq K_1 \quad [1.5]$$

$$x_{21} \leq K_2 \quad [1.6]$$

$$\vdots$$

$$x_{m1} \leq K_m \quad [1.7]$$

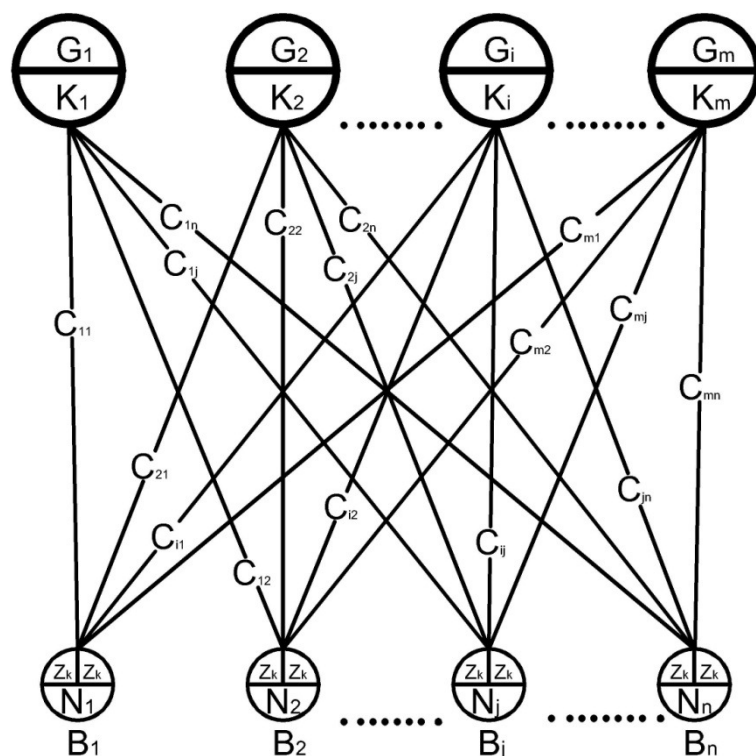
$$\sum_{i \in I} x_{i1} = B_1 \quad [1.9]$$

$$x_{i1} \geq 0 \text{ pro } i \in I \quad [1.11]$$

## 5.2 Model s $n$ zastávkovými vrcholy

V podkapitole 5.2 bude demonstrován postup tvorby matematického modelu při existenci  $n$  zastávkových vrcholů.

Matematický model začne matematickou formulací situace, kdy je k dispozici konečný počet odstavných ploch označených  $G_1, G_2, \dots, G_m$  ( $m$  je počet odstavných ploch) a konečný počet zastávkových vrcholů označeny  $N_1, N_2, \dots, N_n$  ( $n$  je počet zastávkových vrcholů). I v případě modelu s  $n$  zastávkovými vrcholy je pro zjednodušení postupu konstrukce modelu je uvažováno s jedním typem vozidla. Pro každou odstavnou plochu  $i \in I$ , kde  $I$  množina odstavných ploch je k dispozici informace o její kapacitě  $K_i$ , a dále je známa velikost požadavku  $B_j$  zastávkového vrcholu  $N_j$ . Situace je znázorněna na Obr. 5.2.



Obr. 5.2 Grafická reprezentace dopravní úlohy

I při této variantě má model dopravní úlohy tři základní tvary – pro vybilancovanou úlohu a dva pro nevybilancované úlohy – s přebytkem kapacit zdrojů a přebytkem požadavků spotřebitelů. Protože v případě řešeného problému je součet kapacit odstavných ploch vyšší než součet požadavků zastávkových vrcholů, jedná se opět o nevybilancovanou dopravní úlohu s přebytkem kapacit zdrojů. Tomuto typu nevybilancované dopravní úlohy bude přizpůsoben i postup popisovaný v následujících odstavcích.

V případě nevybilancované úlohy s přebytkem kapacit zdrojů o  $m$  odstavných plochách a  $n$  zastávkových vrcholech (s jedním typem vozidla) bude tedy platit:

$$K_1 + K_2 + \dots + K_m > B_1 + B_2 + \dots + B_n \quad [2.1]$$

$$\sum_{i \in I} K_i > \sum_{j \in J} B_j \quad [2.2]$$

Omezující podmínky v případě nevybilancované dopravní úlohy s přebytkem kapacit zdrojů (v řešeném případě odstavných ploch), bez přidavných omezení, musí zajistit, aby kapacita žádného zdroje (odstavné plochy) nebyla překročena a počet požadavků každého spotřebitele (zastávkového vrcholu) byl splněn. Rovněž musí být dodrženy podmínky nezápornosti proměnných, které se v úloze vyskytují.

Proměnné v případě řešené situace modelují objemy přepravy realizované v jednotlivých relacích. V případě řešeného problému budou objemům přeprav v jednotlivých relacích odpovídat počty vozidel přejíždějících mezi jednotlivými odstavnými plochami a zastávkovými vrcholy. Počet proměnných  $x_{ij}$  pro  $i \in I$ , kde  $I$  je množina odstavných ploch a pro  $j \in J$ , kde  $J$  je množina zastávkových vrcholů, odpovídá počtu možných relací. Je-li umožněno přejíždět z libovolné odstavné plochy do libovolného zastávkového vrcholu, je počet přípustných relací, to je také počet proměnných  $x_{ij}$ , roven  $m.n$ .

Konstrukce matematického modelu začne opět sestavou účelové funkce, ve které se minimalizují najeté nevyužité kilometry. Najeté nevyužité kilometry mezi autobusovými garážemi ( $G_1, G_2, \dots, G_m$ ) a zastávkovými vrcholy ( $N_1, N_2, \dots, N_n$ ), závisí na počtu jízd a neproduktivně ujeté vzdálenosti vyplývající z příslušné relace. Jednotlivé členy účelové funkce budou mít tvar  $C_{ij}x_{ij}$ . Protože v rámci zadané úlohy existuje  $m.n$  přípustných relací, musí mít také účelová funkce  $m.n$  členů. Účelová funkce bude mít tvar viz rovnice [2.3] nebo úsporněji zapsaná viz rovnice [2.4].

$$\begin{aligned} \min f(x) = & C_{11}x_{11} + C_{12}x_{12} + \dots + C_{1n}x_{1n} + C_{21}x_{21} + C_{22}x_{22} + \dots + C_{m1}x_{m1} \\ & + C_{m2}x_{m2} + \dots + C_{mn}x_{mn} \end{aligned} \quad [2.3]$$

$$\min f(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij}x_{ij} \quad [2.4]$$

Věnujme se nyní konstrukci omezujících podmínek. Omezující podmínky musí zajišťovat, aby kapacity odstavných ploch nebyly překročeny a požadavky zastávkových vrcholů byly splněny.

Co se týče podmínek prvního typu, to je podmínek zajišťujících nepřekročení kapacit odstavných ploch a jejich formulace pomocí matematického zápisu, stačí si uvědomit vztah mezi množstvím přejezdů reprezentovaných proměnnými  $x_{ij}$



a kapacitami odstavných ploch. Nepřekročení kapacity odstavné plochy  $G_1$  tedy lze vyjádřit nerovnicí [2.5].

$$x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n} \leq K_1 \quad [2.5]$$

Analogicky se formulují omezující podmínky pro ostatní odstavné plochy, viz nerovnice [2.6], ..., [2.7] a nebo úsporněji zapsané, viz nerovnice [2.8].

$$x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n} \leq K_2 \quad [2.6]$$

$$\vdots$$

$$x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{mn} \leq K_m \quad [2.7]$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq K_i \text{ pro } i \in I \quad [2.8]$$

Obdobným způsobem lze zapsat podmínky vztahující se ke splnění počtu požadavků zastávkových vrcholů  $N_j$ . Počet autobusů, který bude pro potřeby jednotlivých zastávkových vrcholů přistaven, musí odpovídat stanoveným požadavkům.

Uvedená omezení lze matematicky formulovat pomocí rovnic, viz [2.9], ..., [2.11.] (rozepsaný tvar) nebo rovnice ve tvaru, viz [2.12] (zkrácený tvar).

$$x_{11} + x_{21} + \dots + x_{m1} = B_1 \quad [2.9]$$

$$x_{12} + x_{22} + \dots + x_{m2} = B_2 \quad [2.10]$$

$$\vdots$$

$$x_{1n} + x_{2n} + \dots + x_{mn} = B_n \quad [2.11]$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = B_j \text{ pro } j \in J \quad [2.12]$$

Doplní-li se soustava omezujících podmínek o obligatorní podmínky, viz [2.13], je matematický model zadané dopravní úlohy sestaven.

$$x_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [2.13]$$

Matematický model má tedy tvar (číslování vztahů v rekapitulaci matematického modelu odpovídá číslování vztahů zavedenému v předchozím textu) :

$$\min f(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad [2.4]$$

za podmínek :

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq K_i \text{ pro } i \in I \quad [2.8]$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = B_j \text{ pro } j \in J \quad [2.12]$$

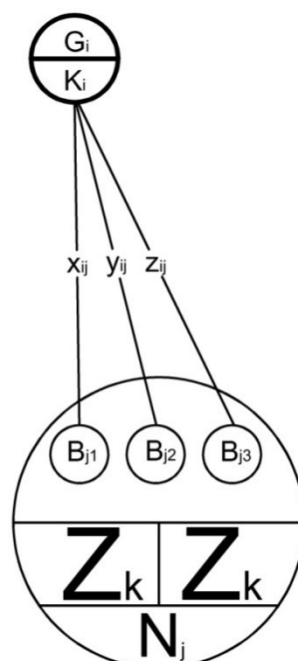
$$x_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [2.13]$$

### 5.3 Modifikace matematického modelu

Podkapitola 5.3 obsahuje modifikaci modelů uvedených v podkapitole 5.2. Modifikace se týkají zavedení více typů vozidel do úlohy a splnění předpokladu, že autobusy patřící do skupiny B nebo skupiny C (viz kapitola 3.2.2 a 3.2.3) budou odstavovány na odstavných plochách společně.

V rámci uplatňování požadavků na společné parkování pro skupiny B a C mohou nastat dvě varianty. První variantou je, že vozidla typů B a C budou parkována společně na různých odstavných plochách a druhou variantou je, že vozidla obou typů budou parkována společně na stejné odstavné ploše. Matematický model musí být natolik obecný, aby byly přípustné obě uvedené varianty.

Na dokreslení situace je na Obr. 5.3 znázorněna situace pro přejezdy vozidel mezi odstavnou plochou  $G_i$  a zastávkovým vrcholem  $N_j$  při třech typech vozidel.



Obr. 5.3 Graf reprezentující rozdělení požadavků zastávkového vrcholu při třech skupinách autobusů

Pro potřeby modelování toků tří typů vozidel, budou zavedeny tři skupiny proměnných, které mohou nabýt nezáporných celých čísel  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$  a  $z_{ij}$  pro  $i \in I$ , kde  $I$  je množina odstavných ploch a pro  $j \in J$  kde  $J$  je množina zastávkových vrcholů, viz obrázek Obr. 5.3. Proměnná  $x_{ij}$  představuje zatím neznámý tok autobusů zařazených do skupiny A mezi  $i$ -tou odstavnou plochou a  $j$ -tým zastávkovým vrcholem, proměnná  $y_{ij}$  představuje zatím neznámý tok autobusů zařazených do skupiny B mezi  $i$ -tou odstavnou plochou a  $j$ -tým zastávkovým vrcholem a proměnná  $z_{ij}$  představuje zatím neznámý tok autobusů zařazených do skupiny C mezi  $i$ -tou odstavnou plochou a  $j$ -tým zastávkovým vrcholem.

Dále budou do modelu zavedeny dvě skupiny bivalentních proměnných  $f_i$  a  $h_i$  pro  $i \in I$ , kde  $I$  je množina odstavných ploch. Proměnné  $f_i$  a  $h_i$  mohou nabýt hodnot 1 nebo 0. Pokud proměnná  $f_i$  nabude hodnoty 1, bude modelovat rozhodnutí, kdy se tok autobusů zařazených do skupiny B z lokality  $i$  uskuteční, pokud  $f_i$  nabude hodnoty 0, tak se tok autobusů zařazených do skupiny B z lokality  $i$  neuskuteční. Pokud proměnná  $h_i$  nabude hodnoty 1, bude modelovat rozhodnutí, kdy se tok autobusů zařazených do skupiny C z lokality  $i$  uskuteční, pokud  $h_i$  nabude hodnoty 0, tak tok autobusů zařazených do skupiny C z lokality  $i$  neuskuteční.

Předpoklad stanovený nerovnicí [3.1] zůstává nezměněn.

$$\sum_{i \in I} K_i > \sum_{j \in J} B_j \quad [3.1.]$$

Účelová funkce musí být patřičně rozšířena o členy vyjadřující toky vozidel podle jednotlivých typů, viz funkční předpis [3.2]. Funkce reprezentuje celkový počet nevyužitých kilometrů, který najedou vozidla podle jednotlivých skupin.

$$\min f(x, y, z) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} z_{ij} \quad [3.2]$$

Analogicky musí být v modelu přizpůsobeny omezující podmínky, které vymezují množinu přípustných řešení. Musí být zajištěno, že nebude překročena kapacita žádné odstavné plochy viz nerovnice [3.3].

$$\sum_{j \in J} x_{ij} + \sum_{j \in J} y_{ij} + \sum_{j \in J} z_{ij} \leq K_i \text{ pro } i \in I \quad [3.3]$$

Požadavek j-tého zastávkového vrcholu na počet autobusů skupiny A musí být splněn viz rovnice [3.4], požadavek j-tého zastávkového vrcholu na počet autobusů skupiny B musí být splněn viz rovnice [3.5] a rovněž požadavek j-tého zastávkového vrcholu na počet autobusů skupiny C musí být splněn viz rovnice [3.6].

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = B_{j1} \text{ pro } j \in J \quad [3.4]$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = B_{j2} \text{ pro } j \in J \quad [3.5]$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} = B_{j3} \text{ pro } j \in J \quad [3.6]$$

Následující podmínky, viz [3.7] a [3.8], zajistí, že autobusy zařazené do skupiny B budou odstavovány společně, na jedné odstavné ploše. Do modelu se zavede nová vstupní veličina  $T$ , která v nerovnicích [3.7] a [3.9] reprezentuje prohibitivní konstantu. Kdyby nebyla do podmínek zavedena, podmínka by umožnila, aby toky vozidel mezi jednotlivými stanovišti byly maximálně 1. Ve výpočtech bude pro zjednodušení hodnota prohibitivní konstanty volena ve výši 100 000. Při stanovení hodnot prohibitivních konstant existuje i alternativní postup, pro každou relaci se stanoví jiná hodnota prohibitivní konstanty v závislosti na maximálním možném počtu přejezdů možných v dané relaci. Efekt z obou přístupů zůstává stejný, první způsob stanovení výše prohibitivní konstanty je však jednodušší.

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq f_i T \text{ pro } i \in I \quad [3.7]$$

$$\sum_{i \in I} f_i = 1 \quad [3.8]$$

Následující podmínky, viz [3.9] a [3.10], zajistí, že autobusy zařazené do skupiny C budou odstavovány společně. V souvislosti se splněním tohoto požadavku, musí být, analogicky jako v předchozím případě, zavedena prohibitivní konstanta  $T$ . Při stanovení její výše se postupuje stejným způsobem jako v případě vozidel zařazených do skupiny B.

$$\sum_{j \in J} z_{ij} \leq h_i T \text{ pro } i \in I \quad [3.9]$$

$$\sum_{i \in I} h_i = 1 \quad [3.10]$$

Na závěr musí být matematický model doplněn o soustavu obligatorních podmínek týkajících se zavedených proměnných, viz [3.11] až [3.15].

$$x_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [3.11]$$

$$y_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [3.12]$$

$$z_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [3.13]$$

$$f_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad [3.14]$$

$$h_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad [3.15]$$

Matematický model má tedy tvar (číslování vztahů v rekapitulaci matematického modelu odpovídá číslování vztahů zavedenému v předchozím textu) :

$$\min f(x, y, z) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} z_{ij} \quad [3.2]$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} + \sum_{j \in J} y_{ij} + \sum_{j \in J} z_{ij} \leq K_i \text{ pro } i \in I \quad [3.3]$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = B_{j1} \text{ pro } j \in J \quad [3.4]$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = B_{j2} \text{ pro } j \in J \quad [3.5]$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} = B_{j3} \text{ pro } j \in J \quad [3.6]$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq f_i T \text{ pro } i \in I \quad [3.7]$$

$$\sum_{i \in I} f_i = 1 \quad [3.8]$$

$$\sum_{j \in J} z_{ij} \leq h_i T \text{ pro } i \in I \quad [3.9]$$

$$\sum_{i \in I} h_i = 1 \quad [3.10]$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [3.11]$$

$$y_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [3.12]$$

$$z_{ij} \geq 0 \text{ pro } i \in I \text{ a } j \in J \quad [3.13]$$

$$f_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad [3.14]$$

$$h_i \in \{0,1\} \text{ pro } i \in I \quad [3.15]$$

## 6 Realizace optimalizačního výpočtu

V této kapitole bude sestavený model aplikován pro řešení zadaného problému. Nejdříve je zapotřebí připravit vstupní údaje a následně je dosadit do modelu, který bude vyřešen pomocí optimalizačního software Xpress - IVE.

Postup řešení bude následující:

- vytvoření množiny odstavných ploch,
- zmapování kapacit odstavných ploch,
- vytvoření množiny zastávkových vrcholů,
- zmapování požadavků zastávkových vrcholů,
- sestavení matice vzdáleností mezi odstavnými plochami a zastávkovými vrcholy,
- vložení dat do matematického modelu,
- transformace matematického modelu do textu programu pro optimalizační software Xpress - IVE.

### 6.1 Vytvoření množiny odstavných ploch

Množina odstavných ploch bude tvořena třemi nejvýznamnějšími odstavnými plochami, které v současné době společnost Dopravní podnik Ostrava a.s., využívá k odstavování autobusů. Půjde o odstavné plochy umístěné v lokalitách Hranečník (městský obvod Slezká Ostrava), Slavíkova (městský obvod Ostrava – Poruba) a Ústřední dílny Martinov (v městské části Ostrava – Martinov). Množina odstavných ploch bude tedy tříprvková, tj.  $m=3$ .

### 6.2 Zmapování kapacit odstavných ploch

Odstavná plocha Hranečník vykazuje kapacitu 215 míst, odstavná plocha Martinov vykazuje kapacitu 70 míst a odstavná plocha Slavíkova kapacitu 45 míst. Kapacity odstavných ploch a obsazení odstavných ploch autobusy ke dni provedení

optimalizačního výpočtu + 8% rezerva mi byly sděleny ze strany Dopravního podniku Ostrava a.s..

Protože ve výpočtu nejsou zahrnuty všechny autobusy, které dopravní podnik nasazuje k obsluze spojů (u vozidel, která nebudou do výpočtu zahrnuta, zůstane stávající přidělení zachováno), musí být kapacity odstavných ploch patřičně upraveny. Počet volných parkovacích míst pro potřeby optimalizace dostaneme jako rozdíl celkové kapacity odstavné plochy a počtu stání, která musí na ploše zůstat vyčleněna pro autobusy, které nebudou zařazeny do optimalizačního výpočtu, tj. těch, u nichž se se změnou přidělení neuvažuje. Počet řešených autobusů, které jsou zapotřebí k optimalizačnímu výpočtu, je uveden v tabulkách Tab. 4.1 až 4.7 (uvedené v kapitole 4.4. a v příloze č.2.). Potřebné údaje, týkající se disponibilních kapacit odstavných ploch, jsou uvedeny v Tab. 6.1.

Tab. 6.1 Kapacity odstavných ploch

	kapacita odstavné plochy	obsazení odstavných ploch + 8% rezerva	počet volných parkovacích míst	počet řešených autobusů	počet odstavných míst k dispozici
odstavná plocha Hranečník	<b>215</b>	<b>171</b>	<b>44</b>	<b>58</b>	<b>102</b>
odstavná plocha Martinov	<b>70</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>25</b>
odstavná plocha Slavíkova	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>33</b>

Pro potřeby optimalizačního výpočtu přicházejí v úvahu kapacity:

- řešená kapacita odstavné plochy Hranečník ....  $K_1 = 102$  míst,
- řešená kapacita odstavné plochy Martinov .....  $K_2 = 25$  míst,
- řešená kapacita odstavné plochy Slavíkova .....  $K_3 = 33$  míst,

Matice kapacit odstavných ploch bude tedy mít následující tvar.

$$K = \begin{vmatrix} 102 \\ 25 \\ 33 \end{vmatrix}$$



## 6.3 Vytvoření množiny zastávkových vrcholů

Množina zastávkových vrcholů bude tvořena 73 zastávkovými vrcholy, které k datu provedení optimalizace společnost Dopravní podnik Ostrava a.s. využívá k přistavování a odstavování autobusů z a na oběhy linek. Množina zastávkových vrcholů bude mít 73 prvků, tj.  $n=73$ . Soupis zastávkových vrcholů byl uveden v Tab. 4.8.

## 6.4 Zmapování požadavků zastávkových vrcholů

Požadavky zastávkových vrcholů jsou shrnuty do tabulky Tab. 6.2. Tabulka Tab. 6.2 vznikla kombinací tabulek Tab. 4.1 až 4.7 (uvedených v kapitole 4.4. a v příloze č.2.) a Tab. 4.8 (uvedené v kapitole 4.6.). Jak je z tabulky Tab. 6.2 patrné, např. zastávkový vrchol  $N_i$  požaduje přistavení jednoho standardního autobusu ze skupiny A, 0 autobusů ze skupiny B a 0 autobusů ze skupiny C.

Tab. 6.2 Matice požadavků zastávkových vrcholů

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21
B <sub>1j</sub>	1	1	1	6	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	1	0	1	1	6	1
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21
B <sub>2j</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21
B <sub>3j</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33	N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42
B <sub>1j</sub>	4	1	1	1	2	2	1	0	2	0	0	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1
	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33	N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42
B <sub>2j</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33	N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42
B <sub>3j</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N43	N44	N45	N46	N47	N48	N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55	N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63
B <sub>1j</sub>	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	1
	N43	N44	N45	N46	N47	N48	N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55	N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63
B <sub>2j</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	N43	N44	N45	N46	N47	N48	N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55	N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63
B <sub>3j</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	N64	N65	N66	N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73											
B <sub>1j</sub>	1	2	2	1	1	2	1	1	1	0											
	N64	N65	N66	N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73											
B <sub>2j</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	N64	N65	N66	N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73											
B <sub>3j</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1											

Legenda:

NX...označení zastávkového vrcholu podle Tab. 4.8

## **6.5 Sestavení matice vzdáleností mezi odstavnými plochami a zastávkovými vrcholy**

Následující tabulka Tab. 6.3, která reprezentuje matici vzdáleností, vznikla kombinací tabulek Tab. 4.1 až 4.7 (uvedených v kapitole 4.4. a v příloze č.2.) a Tab. 4.8 (uvedené v kapitole 4.6). Matice  $C_{ij}$  obsahuje 219 členů.

Například prvek o hodnotě 33,598 uvedený na pozici prvku (1,1) reprezentuje vzdálenost mezi odstavnou plochou Hranečník a zastávkovým vrcholem  $N_1$ .

Tab. 6.3 Matice vzdáleností mezi zastávkovými vrcholy a odstavnými plochami

C <sub>ij</sub>	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
H	33.598	21.957	22.933	0.804	5.394	19.359	23.772	9.752	19.106	21.837	26.729
M	6.979	13.534	25.700	25.900	30.500	21.700	23.959	21.600	19.446	10.177	6.499
A	2.746	11.689	24.745	25.100	29.700	9.800	20.981	20.600	18.085	10.838	5.964
C <sub>ij</sub>	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22
H	9.398	4.426	10.378	21.652	10.752	20.122	14.271	32.463	32.480	34.469	32.600
M	18.300	28.000	33.700	25.787	20.679	27.800	25.790	7.292	7.941	6.854	5.320
A	17.600	27.300	32.800	25.171	20.371	26.900	26.485	4.546	5.275	3.133	3.947
C <sub>ij</sub>	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33
H	26.265	26.700	23.000	16.522	8.430	35.906	30.929	30.900	27.700	32.000	22.738
M	12.448	7.081	9.472	30.300	23.500	8.850	10.742	12.193	13.320	13.073	26.040
A	11.703	6.372	8.763	29.200	22.600	6.494	8.455	9.266	12.777	12.530	23.057
C <sub>ij</sub>	N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42	N43	N44
H	19.664	27.228	28.328	32.818	26.900	26.300	28.870	25.829	28.055	22.905	29.604
M	21.676	28.140	27.555	29.655	6.686	7.734	9.720	9.916	15.600	10.851	9.431
A	20.323	24.912	26.445	28.300	4.628	2.656	4.002	5.019	17.067	7.270	4.098
C <sub>ij</sub>	N45	N46	N47	N48	N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55
H	9.949	16.605	13.630	29.766	32.251	32.251	12.387	31.576	20.667	31.191	24.000
M	27.000	27.485	21.110	6.716	6.054	6.054	13.957	8.957	17.930	8.461	11.336
A	23.660	26.057	21.417	2.267	1.323	1.999	13.358	3.555	12.430	3.166	8.147
C <sub>ij</sub>	N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63	N64	N65	N66
H	28.475	25.700	4.802	0.010	10.503	10.146	5.801	25.958	24.319	17.990	25.690
M	15.695	7.372	26.900	26.400	20.720	22.520	21.720	28.300	27.533	27.233	30.066
A	12.793	6.070	23.560	12.800	19.900	19.160	20.900	27.500	25.361	24.851	23.918
C <sub>ij</sub>	N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73				
H	24.827	21.138	32.669	23.098	22.064	22.965	23.064				
M	31.487	17.479	10.924	24.852	23.210	30.766	25.412				
A	27.962	17.971	9.028	19.356	20.965	26.186	21.820				

Legenda:

H...odstavná plocha Hranečník

M...odstavná plocha Martinov

S...odstavná plocha Slavíkova

NX...označení zastávkového vrcholu podle Tab. 4.8

## 6.6 Vložení dat do matematického modelu

Matematický model řešení úlohy má tvar :

$$\min f(x, y, z) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{73} C_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{73} C_{ij} y_{ij} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{73} C_{ij} z_{ij} \quad [3.1]$$

$$\sum_{j=1}^{73} x_{ij} + \sum_{j=1}^{73} y_{ij} + \sum_{j=1}^{73} z_{ij} \leq K_i \text{ pro } i = 1, 2, 3 \quad [3.2]$$

$$\sum_{i=1}^3 x_{ij} = B_{j1} \text{ pro } j = 1, 2, \dots, 73 \quad [3.3]$$

$$\sum_{i=1}^3 y_{ij} = B_{j2} \text{ pro } j = 1, 2, \dots, 73 \quad [3.4]$$

$$\sum_{i=1}^3 z_{ij} = B_{j3} \text{ pro } j = 1, 2, \dots, 73 \quad [3.5]$$

$$\sum_{j=1}^{73} y_{ij} \leq f_i T \text{ pro } i = 1, 2, 3 \quad [3.6]$$

$$\sum_{i=1}^3 f_i = 1 \quad [3.7]$$

$$\sum_{j=1}^{73} z_{ij} \leq h_i T \text{ pro } i = 1, 2, 3 \quad [3.8]$$

$$\sum_{i=1}^3 h_i = 1 \quad [3.9]$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ pro } i = 1, 2, 3 \text{ a } j = 1, 2, \dots, 73 \quad [3.10]$$

$$y_{ij} \geq 0 \text{ pro } i = 1, 2, 3 \text{ a } j = 1, 2, \dots, 73 \quad [3.11]$$

$$z_{ij} \geq 0 \text{ pro } i = 1, 2, 3 \text{ a } j = 1, 2, \dots, 73 \quad [3.12]$$

$$f_i \in \{0, 1\} \text{ pro } i = 1, 2, 3 \quad [3.13]$$

$$h_i \in \{0, 1\} \text{ pro } i = 1, 2, 3 \quad [3.14]$$

Před vlastním řešením sestaveného modelu budou zrekapitulovány údaje charakterizující rozsah modelu. Z podkapitoly 6.1 je známo, že množina odstavných ploch má tři prvky, z podkapitoly 6.3 je známo, že množina zastávkových vrcholů obsahuje 73 prvků a matice vzdáleností obsahuje celkem 219 prvků.

Počet proměnných vztahujících se k tokům autobusů ze skupiny A činí 219, počet proměnných modelujících toky autobusů skupiny B činí 219 a počet proměnných modelujících toky autobusů skupiny C činí rovněž 219. Celkový počet proměnných modelujících toky vozidel je tedy 657. Počet bivalentních proměnných, pomocí kterých se modeluje rozhodnutí o přiřazení autobusů skupiny B odstavným plochám činí 3, počet bivalentních proměnných modelujících tutéž skutečnost, ale v případě skupiny C, bude rovněž 3. Celkový počet proměnných vystupujících v sestaveném modelu je tedy 663 (657 proměnných je nezáporných a 6 proměnných je bivalentních). Z povahy rozhodnutí, která se týkají toků vozidel, vyplývá, že definičními obory by měly být množiny celých nezáporných čísel, v případě dopravních úloh s celočíselnými kapacitami zdrojů a požadavky spotřebitelů však bylo teoreticky dokázáno, viz např. [8], že nahrazení definičních oborů nezáporných celých čísel (které způsobují komplikace z pohledu řešení) definičními obory – množinami nezáporných čísel, nemá vliv na optimalitu získaného řešení, které bude rovněž celočíselné.

Počet omezujících podmínek zajišťujících nepřekročení kapacity odstavných ploch je 3, počet podmínek zajišťujících splnění požadavků zastávkových vrcholů na autobusy skupiny A je 73, skupiny B je 73 a skupiny C je rovněž 73. Počet omezujících podmínek zajišťujících, že autobusy zařazené do skupiny B budou odstavovány společně, je 4, počet omezujících podmínek zajišťujících, že autobusy zařazené do skupiny C budou odstavovány společně, je 4 a počet obligatorních podmínek je 663.

Jak je z předchozího textu patrné, je rozsah matematického modelu řešeného problému značný, z uvedeného důvodu nebude model v práci v plné velikosti publikován. Adekvátní náhradou za chybějící model bude uvedení plné verze textu programu v příloze č.3 práce.

## 6.7 Základní informace o řešícím software

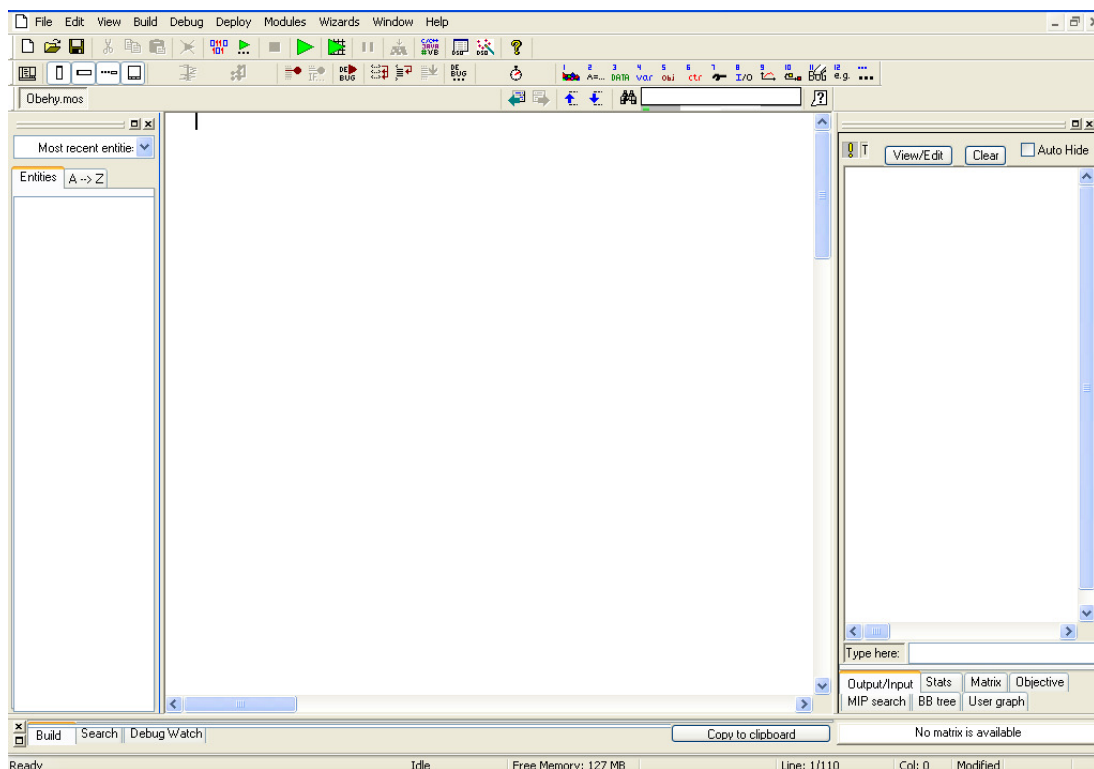
K řešení uvedeného problému bude použit optimalizační software Xpress-IVE. Jedná se o program vyvinutý firmou FICO se sídlem v USA. Demoverze uvedeného software je volně dostupná na internetu a je možno ji využívat pro akademické účely.

Postup práce v optimalizačním software je následující.

Po spuštění programu Xpress-IVE se zobrazí základní pracovní prostředí, ve které se odehrávají všechny procesy od zadání matematického modelu až po závěrečný výpis výsledků. V levé části obrazovky se nachází panel, ve kterém se po ověření správného zápisu matematického modelu nachází přehled všech vstupních údajů, účelové funkce, podmínek a proměnných.

Uprostřed obrazovky se nachází zadávací panel. Do tohoto panelu se zapisuje text programu, prostřednictvím kterého je matematický model do optimalizačního software transformován.

V pravé části se pak nachází panel, ve kterém je po ověření, nenacházejí-li se v matematickém modelu logické chyby, resp. není-li překročena kapacita příslušné verze a použití příkazu *Run*, zobrazeno řešení matematického modelu. Pracovní prostředí optimalizačního software Xpress-IVE je uvedeno na obr. č. 6.1.



Obr. č. 6.1 Pracovní prostředí optimalizačního software Xpress-IVE

Pro zjednodušení práce lze do programu Xpress-IVE vkládat hodnoty, které byly vytvořeny v jiném programu. Nejčastějšími programy jsou Microsoft Office Excel nebo poznámkový blok, který je standardně v každém operačním systému PC.[5]

## 6.8 Text programu řešeného problému

V následujícím textu bude uveden text programu, na základě kterého bude možno optimalizovat přidělení autobusů odstavným plochám. Z důvodu použití demoverze programu, která má omezené možnosti, musí být snížen počet vyskytujících se proměnných. V případech, kdy je požadavek zastávkového vrcholu na autobusy ze skupiny B a C roven nule, tak hodnoty toků týkajících se příslušných relací  $y_{ij}$  a  $z_{ij}$  položíme rovny nule, což bude mít za následek, snížení počtu proměnných, ale značně se rozšíří textová část programu, z toho důvodu bude celý text uveden v příloze č.3.

Text programu v programovacím jazyce Mosel, se kterým pracuje zvolený optimalizační software, má tvar :

```
model diplomovaprace
uses "mmxprs";
```

```
declarations
zdr=1..3
zak1=1..73
zak2=1..73
zak3=1..73
```

```
a:array(zdr)of real
b1:array(zak1)of real
b2:array(zak2)of real
b3:array(zak3)of real
```

```
c:array(zdr,zak1)of real
x:array(zdr,zak1)of mpvar
y:array(zdr,zak2)of mpvar
z:array(zdr,zak3)of mpvar
f:array(zdr)of mpvar
h:array(zdr)of mpvar
end-declarations
```

```
a::[102,
    25,
    33]
```

```
b1::[1,1,1,6,1,1,1,1,1,0,0,0,1,2,1,1,0,1,1,6,1,4,1,1,1,2,2,1,0,2,0,0,2,1,1,1,1,2,1,1,0,1,1,1,
2,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,2,1,1,1,2,2,1,1,2,1,1,1,0]
b2::[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
b3::[0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]
```

```
c::[33.598,21.957,22.933,0.804,5.394,19.359,23.772,9.752,19.106,21.837,26.729,9.39
8,4.426,10.378,21.652,10.752,20.122,14.271,32.463,32.480,34.469,32.600,26.265,26.
700,23.000,16.522,8.430,35.906,30.929,30.900,27.700,32.000,22.738,19.664,27.228,2
8.328,32.818,26.900,26.300,28.870,25.829,28.055,22.905,29.604,9.949,16.605,13.630
,29.766,32.251,32.251,12.387,31.576,20.667,31.191,24.000,28.475,25.700,4.802,0.01
0,10.503,10.146,5.801,25.958,24.319,17.990,25.690,24.827,21.138,32.669,23.098,22.
064,22.965,23.064,
6.979,13.534,25.700,25.900,30.500,21.700,23.959,21.600,19.446,10.177,6.499,18.300
,28.000,33.700,25.787,20.679,27.800,25.790,7.292,7.941,6.854,5.320,12.448,7.081,9.
472,30.300,23.500,8.850,10.742,12.193,13.320,13.073,26.040,21.676,28.140,27.555,2
9.655,6.686,7.734,9.720,9.916,15.600,10.851,9.431,27.000,27.485,21.110,6.716,6.054
,6.054,13.957,8.957,17.930,8.461,11.336,15.695,7.372,26.900,26.400,20.720,22.520,2
1.720,28.300,27.533,27.233,30.066,31.487,17.479,10.924,24.852,23.210,30.766,25.41
2,
2.746,11.689,24.745,25.100,29.700,9.800,20.981,20.600,18.085,10.838,5.964,17.600,
27.300,32.800,25.171,20.371,26.900,26.485,4.546,5.275,3.133,3.947,11.703,6.372,8.7
```



63,29.200,22.600,6.494,8.455,9.266,12.777,12.530,23.057,20.323,24.912,26.445,28.300,4.628,2.656,4.002,5.019,17.067,7.270,4.098,23.660,26.057,21.417,2.267,1.323,1.999,13.358,3.555,12.430,3.166,8.147,12.793,6.070,23.560,12.800,19.900,19.160,20.900,27.500,25.361,24.851,23.918,27.962,17.971,9.028,19.356,20.965,26.186,21.820]

```
forall(i in zdr)sum(j in zak1)x(i,j)+sum(j in zak2)y(i,j)+sum(j in zak3)z(i,j)<=a(i)
forall(j in zak1)sum(i in zdr)x(i,j)=b1(j)
```

```
sum(i in zdr)y(i,10)=b2(10)
sum(i in zdr)y(i,11)=b2(11)
sum(i in zdr)y(i,20)=b2(20)
sum(i in zdr)y(i,29)=b2(29)
sum(i in zdr)y(i,31)=b2(31)
sum(i in zdr)y(i,32)=b2(32)
sum(i in zdr)y(i,41)=b2(41)
sum(i in zdr)y(i,55)=b2(55)
y(1,1)=0
y(1,2)=0
```

. vynecháno a celkový text programu uveden v příloze č.3.

```
y(3,72)=0
y(3,73)=0
sum(i in zdr)z(i,4)=b3(4)
sum(i in zdr)z(i,12)=b3(12)
sum(i in zdr)z(i,17)=b3(17)
sum(i in zdr)z(i,59)=b3(59)
sum(i in zdr)z(i,73)=b3(73)
z(1,1)=0
z(1,2)=0
z(1,3)=0
```

. vynecháno a celkový text programu uveden v příloze č.3

```
z(3,69)=0
z(3,70)=0
z(3,71)=0
z(3,72)=0
forall(i in zdr)sum(j in zak2)y(i,j)<=f(i)*100000
forall(i in zdr)sum(j in zak3)z(i,j)<=h(i)*100000
sum(i in zdr)f(i)=1
sum(i in zdr)h(i)=1
forall(i in zdr)f(i)is_binary
forall(i in zdr)h(i)is_binary
celkove_kilometry:=sum(i in zdr,j in zak1)c(i,j)*x(i,j)+sum(i in zdr,j in zak2)c(i,j)*y(i,j)+sum(i in zdr,j in zak3)c(i,j)*z(i,j)
minimize(celkove_kilometry)
writeln("počet nevyužitých kilometrů: ",getobjval," km")
forall(i in zdr,j in zak1)writeln("x(",i,"",j,"")=",getsol(x(i,j)))
forall(i in zdr,j in zak2)writeln("y(",i,"",j,"")=",getsol(y(i,j)))
forall(i in zdr,j in zak3)writeln("z(",i,"",j,"")=",getsol(z(i,j)))
end-model
```

## 6.9 Vyhodnocení získaných výsledků

Po spuštění běhu programu byly získány hodnoty toků vozidel mezi jednotlivými odstavnými plochami a zastávkovými vrcholy.

Dosažené výsledky jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 6.4, ze které lze vyčíst jakým způsobem jsou autobusy, které byly předmětem optimalizace přiřazeny disponibilním odstavným plochám. Při navrženém přerozdělení autobusů, činí hodnota účelové funkce - nevyužitých kilometrů, které musí autobusy ujet, 1118.21 km za den.

Tab. 6.4 Výstupní data z optimalizačního software

x(1,1)=0	x(1,41)=0	x(2,8)=0	x(2,48)=0	x(3,15)=0	x(3,55)=1	y(1,22)=0	y(1,62)=0	y(2,29)=1
x(1,2)=0	x(1,42)=0	x(2,9)=0	x(2,49)=0	x(3,16)=0	x(3,56)=1	y(1,23)=0	y(1,63)=0	y(2,30)=0
x(1,3)=1	x(1,43)=0	x(2,10)=0	x(2,50)=0	x(3,17)=0	x(3,57)=0	y(1,24)=0	y(1,64)=0	y(2,31)=1
x(1,4)=6	x(1,44)=0	x(2,11)=0	x(2,51)=0	x(3,18)=0	x(3,58)=0	y(1,25)=0	y(1,65)=0	y(2,32)=1
x(1,5)=1	x(1,45)=2	x(2,12)=0	x(2,52)=0	x(3,19)=1	x(3,59)=0	y(1,26)=0	y(1,66)=0	y(2,33)=0
x(1,6)=0	x(1,46)=1	x(2,13)=0	x(2,53)=0	x(3,20)=6	x(3,60)=0	y(1,27)=0	y(1,67)=0	y(2,34)=0
x(1,7)=0	x(1,47)=1	x(2,14)=0	x(2,54)=0	x(3,21)=1	x(3,61)=0	y(1,28)=0	y(1,68)=0	y(2,35)=0
x(1,8)=1	x(1,48)=0	x(2,15)=0	x(2,55)=0	x(3,22)=0	x(3,62)=0	y(1,29)=0	y(1,69)=0	y(2,36)=0
x(1,9)=1	x(1,49)=0	x(2,16)=0	x(2,56)=0	x(3,23)=0	x(3,63)=0	y(1,30)=0	y(1,70)=0	y(2,37)=0
x(1,10)=0	x(1,50)=0	x(2,17)=0	x(2,57)=1	x(3,24)=0	x(3,64)=0	y(1,31)=0	y(1,71)=0	y(2,38)=0
x(1,11)=0	x(1,51)=1	x(2,18)=0	x(2,58)=0	x(3,25)=0	x(3,65)=0	y(1,32)=0	y(1,72)=0	y(2,39)=0
x(1,12)=0	x(1,52)=0	x(2,19)=0	x(2,59)=0	x(3,26)=0	x(3,66)=0	y(1,33)=0	y(1,73)=0	y(2,40)=0
x(1,13)=1	x(1,53)=0	x(2,20)=0	x(2,60)=0	x(3,27)=0	x(3,67)=0	y(1,34)=0	y(2,1)=0	y(2,41)=1
x(1,14)=2	x(1,54)=0	x(2,21)=0	x(2,61)=0	x(3,28)=1	x(3,68)=0	y(1,35)=0	y(2,2)=0	y(2,42)=0
x(1,15)=1	x(1,55)=0	x(2,22)=4	x(2,62)=0	x(3,29)=0	x(3,69)=2	y(1,36)=0	y(2,3)=0	y(2,43)=0
x(1,16)=1	x(1,56)=0	x(2,23)=1	x(2,63)=0	x(3,30)=2	x(3,70)=1	y(1,37)=0	y(2,4)=0	y(2,44)=0
x(1,17)=0	x(1,57)=0	x(2,24)=1	x(2,64)=0	x(3,31)=0	x(3,71)=0	y(1,38)=0	y(2,5)=0	y(2,45)=0
x(1,18)=1	x(1,58)=1	x(2,25)=1	x(2,65)=0	x(3,32)=0	x(3,72)=0	y(1,39)=0	y(2,6)=0	y(2,46)=0
x(1,19)=0	x(1,59)=0	x(2,26)=0	x(2,66)=0	x(3,33)=0	x(3,73)=0	y(1,40)=0	y(2,7)=0	y(2,47)=0
x(1,20)=0	x(1,60)=1	x(2,27)=0	x(2,67)=0	x(3,34)=0	y(1,1)=0	y(1,41)=0	y(2,8)=0	y(2,48)=0
x(1,21)=0	x(1,61)=2	x(2,28)=0	x(2,68)=1	x(3,35)=1	y(1,2)=0	y(1,42)=0	y(2,9)=0	y(2,49)=0
x(1,22)=0	x(1,62)=1	x(2,29)=0	x(2,69)=0	x(3,36)=0	y(1,3)=0	y(1,43)=0	y(2,10)=1	y(2,50)=0
x(1,23)=0	x(1,63)=1	x(2,30)=0	x(2,70)=0	x(3,37)=0	y(1,4)=0	y(1,44)=0	y(2,11)=1	y(2,51)=0
x(1,24)=0	x(1,64)=1	x(2,31)=0	x(2,71)=0	x(3,38)=2	y(1,5)=0	y(1,45)=0	y(2,12)=0	y(2,52)=0
x(1,25)=0	x(1,65)=2	x(2,32)=0	x(2,72)=0	x(3,39)=1	y(1,6)=0	y(1,46)=0	y(2,13)=0	y(2,53)=0
x(1,26)=2	x(1,66)=2	x(2,33)=0	x(2,73)=0	x(3,40)=1	y(1,7)=0	y(1,47)=0	y(2,14)=0	y(2,54)=0
x(1,27)=2	x(1,67)=1	x(2,34)=0	x(3,1)=1	x(3,41)=0	y(1,8)=0	y(1,48)=0	y(2,15)=0	y(2,55)=2
x(1,28)=0	x(1,68)=0	x(2,35)=0	x(3,2)=1	x(3,42)=0	y(1,9)=0	y(1,49)=0	y(2,16)=0	y(2,56)=0
x(1,29)=0	x(1,69)=0	x(2,36)=1	x(3,3)=0	x(3,43)=1	y(1,10)=0	y(1,50)=0	y(2,17)=0	y(2,57)=0
x(1,30)=0	x(1,70)=0	x(2,37)=1	x(3,4)=0	x(3,44)=1	y(1,11)=0	y(1,51)=0	y(2,18)=0	y(2,58)=0
x(1,31)=0	x(1,71)=1	x(2,38)=0	x(3,5)=0	x(3,45)=0	y(1,12)=0	y(1,52)=0	y(2,19)=0	y(2,59)=0
x(1,32)=0	x(1,72)=1	x(2,39)=0	x(3,6)=1	x(3,46)=0	y(1,13)=0	y(1,53)=0	y(2,20)=2	y(2,60)=0
x(1,33)=2	x(1,73)=0	x(2,40)=0	x(3,7)=1	x(3,47)=0	y(1,14)=0	y(1,54)=0	y(2,21)=0	y(2,61)=0
x(1,34)=1	x(2,1)=0	x(2,41)=0	x(3,8)=0	x(3,48)=1	y(1,15)=0	y(1,55)=0	y(2,22)=0	y(2,62)=0
x(1,35)=0	x(2,2)=0	x(2,42)=1	x(3,9)=0	x(3,49)=1	y(1,16)=0	y(1,56)=0	y(2,23)=0	y(2,63)=0
x(1,36)=0	x(2,3)=0	x(2,43)=0	x(3,10)=0	x(3,50)=1	y(1,17)=0	y(1,57)=0	y(2,24)=0	y(2,64)=0
x(1,37)=0	x(2,4)=0	x(2,44)=0	x(3,11)=0	x(3,51)=0	y(1,18)=0	y(1,58)=0	y(2,25)=0	y(2,65)=0
x(1,38)=0	x(2,5)=0	x(2,45)=0	x(3,12)=0	x(3,52)=1	y(1,19)=0	y(1,59)=0	y(2,26)=0	y(2,66)=0
x(1,39)=0	x(2,6)=0	x(2,46)=0	x(3,13)=0	x(3,53)=1	y(1,20)=0	y(1,60)=0	y(2,27)=0	y(2,67)=0
x(1,40)=0	x(2,7)=0	x(2,47)=0	x(3,14)=0	x(3,54)=1	y(1,21)=0	y(1,61)=0	y(2,28)=0	y(2,68)=0

Tab. 6.4 Pokračování

y(2,69)=0	y(3,36)=0	z(1,3)=0	z(1,43)=0	z(2,10)=0	z(2,50)=0	z(3,17)=0	z(3,57)=0
y(2,70)=0	y(3,37)=0	z(1,4)=1	z(1,44)=0	z(2,11)=0	z(2,51)=0	z(3,18)=0	z(3,58)=0
y(2,71)=0	y(3,38)=0	z(1,5)=0	z(1,45)=0	z(2,12)=0	z(2,52)=0	z(3,19)=0	z(3,59)=0
y(2,72)=0	y(3,39)=0	z(1,6)=0	z(1,46)=0	z(2,13)=0	z(2,53)=0	z(3,20)=0	z(3,60)=0
y(2,73)=0	y(3,40)=0	z(1,7)=0	z(1,47)=0	z(2,14)=0	z(2,54)=0	z(3,21)=0	z(3,61)=0
y(3,1)=0	y(3,41)=0	z(1,8)=0	z(1,48)=0	z(2,15)=0	z(2,55)=0	z(3,22)=0	z(3,62)=0
y(3,2)=0	y(3,42)=0	z(1,9)=0	z(1,49)=0	z(2,16)=0	z(2,56)=0	z(3,23)=0	z(3,63)=0
y(3,3)=0	y(3,43)=0	z(1,10)=0	z(1,50)=0	z(2,17)=0	z(2,57)=0	z(3,24)=0	z(3,64)=0
y(3,4)=0	y(3,44)=0	z(1,11)=0	z(1,51)=0	z(2,18)=0	z(2,58)=0	z(3,25)=0	z(3,65)=0
y(3,5)=0	y(3,45)=0	z(1,12)=2	z(1,52)=0	z(2,19)=0	z(2,59)=0	z(3,26)=0	z(3,66)=0
y(3,6)=0	y(3,46)=0	z(1,13)=0	z(1,53)=0	z(2,20)=0	z(2,60)=0	z(3,27)=0	z(3,67)=0
y(3,7)=0	y(3,47)=0	z(1,14)=0	z(1,54)=0	z(2,21)=0	z(2,61)=0	z(3,28)=0	z(3,68)=0
y(3,8)=0	y(3,48)=0	z(1,15)=0	z(1,55)=0	z(2,22)=0	z(2,62)=0	z(3,29)=0	z(3,69)=0
y(3,9)=0	y(3,49)=0	z(1,16)=0	z(1,56)=0	z(2,23)=0	z(2,63)=0	z(3,30)=0	z(3,70)=0
y(3,10)=0	y(3,50)=0	z(1,17)=1	z(1,57)=0	z(2,24)=0	z(2,64)=0	z(3,31)=0	z(3,71)=0
y(3,11)=0	y(3,51)=0	z(1,18)=0	z(1,58)=0	z(2,25)=0	z(2,65)=0	z(3,32)=0	z(3,72)=0
y(3,12)=0	y(3,52)=0	z(1,19)=0	z(1,59)=2	z(2,26)=0	z(2,66)=0	z(3,33)=0	z(3,73)=0
y(3,13)=0	y(3,53)=0	z(1,20)=0	z(1,60)=0	z(2,27)=0	z(2,67)=0	z(3,34)=0	
y(3,14)=0	y(3,54)=0	z(1,21)=0	z(1,61)=0	z(2,28)=0	z(2,68)=0	z(3,35)=0	
y(3,15)=0	y(3,55)=0	z(1,22)=0	z(1,62)=0	z(2,29)=0	z(2,69)=0	z(3,36)=0	
y(3,16)=0	y(3,56)=0	z(1,23)=0	z(1,63)=0	z(2,30)=0	z(2,70)=0	z(3,37)=0	
y(3,17)=0	y(3,57)=0	z(1,24)=0	z(1,64)=0	z(2,31)=0	z(2,71)=0	z(3,38)=0	
y(3,18)=0	y(3,58)=0	z(1,25)=0	z(1,65)=0	z(2,32)=0	z(2,72)=0	z(3,39)=0	
y(3,19)=0	y(3,59)=0	z(1,26)=0	z(1,66)=0	z(2,33)=0	z(2,73)=0	z(3,40)=0	
y(3,20)=0	y(3,60)=0	z(1,27)=0	z(1,67)=0	z(2,34)=0	z(3,1)=0	z(3,41)=0	
y(3,21)=0	y(3,61)=0	z(1,28)=0	z(1,68)=0	z(2,35)=0	z(3,2)=0	z(3,42)=0	
y(3,22)=0	y(3,62)=0	z(1,29)=0	z(1,69)=0	z(2,36)=0	z(3,3)=0	z(3,43)=0	
y(3,23)=0	y(3,63)=0	z(1,30)=0	z(1,70)=0	z(2,37)=0	z(3,4)=0	z(3,44)=0	
y(3,24)=0	y(3,64)=0	z(1,31)=0	z(1,71)=0	z(2,38)=0	z(3,5)=0	z(3,45)=0	
y(3,25)=0	y(3,65)=0	z(1,32)=0	z(1,72)=0	z(2,39)=0	z(3,6)=0	z(3,46)=0	
y(3,26)=0	y(3,66)=0	z(1,33)=0	z(1,73)=1	z(2,40)=0	z(3,7)=0	z(3,47)=0	
y(3,27)=0	y(3,67)=0	z(1,34)=0	z(2,1)=0	z(2,41)=0	z(3,8)=0	z(3,48)=0	
y(3,28)=0	y(3,68)=0	z(1,35)=0	z(2,2)=0	z(2,42)=0	z(3,9)=0	z(3,49)=0	
y(3,29)=0	y(3,69)=0	z(1,36)=0	z(2,3)=0	z(2,43)=0	z(3,10)=0	z(3,50)=0	
y(3,30)=0	y(3,70)=0	z(1,37)=0	z(2,4)=0	z(2,44)=0	z(3,11)=0	z(3,51)=0	
y(3,31)=0	y(3,71)=0	z(1,38)=0	z(2,5)=0	z(2,45)=0	z(3,12)=0	z(3,52)=0	
y(3,32)=0	y(3,72)=0	z(1,39)=0	z(2,6)=0	z(2,46)=0	z(3,13)=0	z(3,53)=0	
y(3,33)=0	y(3,73)=0	z(1,40)=0	z(2,7)=0	z(2,47)=0	z(3,14)=0	z(3,54)=0	
y(3,34)=0	z(1,1)=0	z(1,41)=0	z(2,8)=0	z(2,48)=0	z(3,15)=0	z(3,55)=0	
y(3,35)=0	z(1,2)=0	z(1,42)=0	z(2,9)=0	z(2,49)=0	z(3,16)=0	z(3,56)=0	

Věcná interpretace, např. prvního údaje  $x(1,1)=0$  z tabulky Tab. 6.4 znamená, že k obsluze zastávkového vrcholu  $N_1$  nebudou přiřazeny žádné autobusy ze skupiny A parkující na odstavné ploše Hranečník. Věcná interpretace, např. údaje  $x(1,4)=6$  z tabulky Tab. 6.4 znamená, že k obsluze zastávkového vrcholu  $N_4$  bude přiřazeno 6 autobusů ze skupiny A parkujících na odstavné ploše Hranečník.

Následující tabulka Tab. 6.5. vznikla na základě tabulky Tab. 6.4 a znázorňuje přidělení autobusů z daných skupin odstavným plochám, odkud budou provádět obsluhu jednotlivých zastávkových vrcholů.

Tab. 6.5 zpracovaná výstupní data z optimalizačního software

Nj	Zk	Zk	s	p	q	r	t	u	v	w	c	Nj	Zk	Zk	s	p	q	r	t	u	v	w	c
N1	Z1	Z1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N38	Z35	Z46	0	0	2	0	0	0	0	0	0
N2	Z1	Z40	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N39	Z36	Z33	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N3	Z10	Z32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N40	Z37	Z45	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N4	Z11	Z11	6	0	0	0	0	0	1	0	0	N41	Z37	Z37	0	0	0	0	1	0	0	0	0
N5	Z11	Z15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N42	Z38	Z7	0	1	0	0	0	0	0	0	0
N6	Z12	Z6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N43	Z39	Z39	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N7	Z13	Z32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N44	Z39	Z1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N8	Z14	Z14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N45	Z4	Z50	2	0	0	0	0	0	0	0	0
N9	Z16	Z32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N46	Z40	Z48	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N10	Z16	Z17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	N47	Z40	Z16	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N11	Z17	Z37	0	0	0	0	1	0	0	0	0	N48	Z42	Z45	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N12	Z18	Z18	0	0	0	0	0	0	2	0	0	N49	Z42	Z42	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N13	Z19	Z11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N50	Z42	Z1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N14	Z2	Z2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	N51	Z43	Z43	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N15	Z21	Z20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N52	Z45	Z44	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N16	Z22	Z40	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N53	Z45	Z50	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N17	Z24	Z29	0	0	0	0	0	0	1	0	0	N54	Z45	Z45	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N18	Z25	Z41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N55	Z46	Z46	0	0	1	0	2	0	0	0	0
N19	Z26	Z27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N56	Z47	Z31	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N20	Z26	Z26	0	0	6	0	2	0	0	0	0	N57	Z49	Z27	0	1	0	0	0	0	0	0	0
N21	Z26	Z42	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N58	Z5	Z50	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N22	Z27	Z27	0	4	0	0	0	0	0	0	0	N59	Z5	Z5	0	0	0	0	0	0	2	0	0
N23	Z27	Z41	0	1	0	0	0	0	0	0	0	N60	Z50	Z23	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N24	Z27	Z47	0	1	0	0	0	0	0	0	0	N61	Z50	Z50	2	0	0	0	0	0	0	0	0
N25	Z27	Z43	0	1	0	0	0	0	0	0	0	N62	Z50	Z11	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N26	Z28	Z14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	N63	Z52	Z21	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N27	Z3	Z3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	N64	Z52	Z52	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N28	Z30	Z42	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N65	Z53	Z51	2	0	0	0	0	0	0	0	0
N29	Z30	Z37	0	0	0	0	1	0	0	0	0	N66	Z53	Z53	2	0	0	0	0	0	0	0	0
N30	Z31	Z33	0	0	2	0	0	0	0	0	0	N67	Z53	Z48	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N31	Z31	Z47	0	0	0	0	1	0	0	0	0	N68	Z7	Z40	0	1	0	0	0	0	0	0	0
N32	Z31	Z46	0	0	0	0	1	0	0	0	0	N69	Z7	Z1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
N33	Z32	Z32	2	0	0	0	0	0	0	0	0	N70	Z8	Z13	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N34	Z32	Z16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	N71	Z8	Z32	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N35	Z32	Z34	0	0	1	0	0	0	0	0	0	N72	Z9	Z48	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N36	Z34	Z32	0	1	0	0	0	0	0	0	0	N73	Z9	Z32	0	0	0	0	0	0	1	0	0
N37	Z34	Z34	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Σ			42	12	33	0	10	0	7	0	0

Legenda:

- s...počet autobusů skupiny A přiřazených odstavné ploše Hranečnick, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- p...počet autobusů skupiny A přiřazených odstavné ploše Martinov, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- q...počet autobusů skupiny A přiřazených odstavné ploše Slavíkova, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- r...počet autobusů skupiny B přiřazených odstavné ploše Hranečnick, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- t ...počet autobusů skupiny B přiřazených odstavné ploše Martinov, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- u...počet autobusů skupiny B přiřazených odstavné ploše Slavíkova, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- v...počet autobusů skupiny c přiřazených odstavné ploše Hranečnick, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- w...počet autobusů skupiny C přiřazených odstavné ploše Martinov, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu,
- c...počet autobusů skupiny C přiřazených odstavné ploše Slavíkova, odkud provádí obsluhu příslušného zastávkového vrcholu.

Z Tab. 6.5 lze rovněž vyčíst, že odstavné ploše Hranečnick je přiděleno 42 autobusů ze skupiny A a 7 autobusů ze skupiny C, odstavné ploše Martinov je přiděleno 12 autobusů ze skupiny A a 7 autobusů ze skupiny B a odstavné ploše Slavíkova je přiděleno 33 autobusů ze skupiny A.

## 7 Porovnání dosažených výsledků

Získané výsledky budou v této kapitole porovnány s hodnotami týkajícími se původního stavu. Porovnání bude provedeno ze dvou hledisek a to :

- z hlediska úspory neproduktivně ujeté vzdálenosti,
- z hlediska úspory nákladů, které z neproduktivně ujeté vzdálenosti vyplývají.

### 7.1 Porovnání dosažených výsledků z hlediska úspory neproduktivně ujeté vzdálenosti

Z tabulek Tab. 4.1 až 4.7 (uvedených v kapitole 4.4. a v příloze č.2.) je možno vyčíslit původní rozmístění autobusů ke dni 8.9.2009, což je shrnuto v Tab. 6.6.

Tab. 6.6 Původní přidělení autobusů ke dni 8.9.2009

Skupina autobusů	Odstavná plocha		
	Hranečník	Martinov	Slavíkova
<b>A</b>	51	3	33
<b>B</b>	0	10	0
<b>C</b>	7	0	0
<b>Celkem</b>	<b>58</b>	<b>13</b>	<b>33</b>

Při takovémto rozmístění autobusů na odstavné plochy činila hodnota účelové funkce - nevyužitých kilometrů 1166,088 km za den. Nový optimální návrh přidělení autobusů odstavným plochám je uveden v tabulce Tab. 6.7.



Tab. 6.7 optimální navrhované přerozdělení autobusů ke dni 8.9.2009

Skupina autobusů	Odstavná plocha		
	Hranečník	Martinov	Slavíkova
<b>A</b>	42	12	33
<b>B</b>	0	10	0
<b>C</b>	7	0	0
<b>Celkem</b>	49	22	33

Při takovémto rozmístění autobusů by se hodnota nevyužitých kilometrů snížila na 1118.21 km za den. Vypočítaná úspora z hlediska neproduktivně ujeté vzdálenosti bude činit 47,888 km za den.

## 7.2 Porovnání dosažených výsledků z hlediska úspory nákladů vyplývajících z úspory neproduktivně ujeté vzdálenosti

Porovnání dosažených výsledků z hlediska úspory nákladů vyplývajících z úspory neproduktivně ujeté vzdálenosti bude provedeno pouze v hrubých rysech na základě znalosti hodnoty průměrných režijních nákladů na ujetí vzdálenosti jednoho kilometru autobusem.

Průměrné režijní náklady na ujetí jednoho kilometru autobusu, činí v podmínkách Dopravního podniku Ostrava a.s., 35 Kč. Uvedený údaj byl pro potřeby zpracování diplomové práce poskytnut dopravcem. Při vypočítané úspoře 47,888 km za den zjištěné po ukončení optimalizačního výpočtu by hodnota ušetřených nákladů za den 8.9.2009 činila 1 676,08 Kč

## 8 Závěr

Předložená diplomová práce se zabývá prověřením možností úspor v neproduktivně ujeté vzdálenosti, kterou musí ujet vybraná skupina autobusů nasazovaných k obsluze spojů na linkách provozovaných Dopravním podnikem Ostrava a.s.. Autobusy se v rámci svých oběhů přistavují z odstavných ploch na počáteční zastávky, kde začínají obsluhu prvního spoje a odjíždějí po ukončení obsluhy posledního spoje na tutéž odstavnou plochu. Před obsluhou prvního a po ukončení obsluhy posledního spoje tak vznikají neproduktivně ujeté kilometry. Protože místa, ve kterých autobusy začínají obsluhovat první spoj a končí obsluhu posledního spoje zůstávají v rámci plánovaných oběhů neměnná, je možno neproduktivně ujetou vzdálenost snížit pouze jiným přidělením autobusů odstavným plochám. Při možnosti predisponování autobusů však muselo být přihlíženo k požadavku dopravce a to, že autobusy od výrobce Fiat a Mercedes Benz budou mít společnou odstavnou plochu, totéž muselo být splněno pro autobusy od výrobce Renault.

Návrh optimálního přerozdělení autobusů byl proveden pro den 8.9.2009 a to pro autobusy, které obsluhovaly ranní, odpolední a vybrané dělené kurzy (jednalo se o dělené kurzy, na kterých se vyskytují typy autobusů s požadavkem, že musí být odstavovány společně na odstavné ploše). Celkem se tedy přerozdělovalo 104 autobusů z toho bylo 7 autobusů od výrobce Renault a 10 autobusů od výrobců Fiat a Mercedes Benz.

K řešení zadaného problému byly použity metody lineárního programování. Byl sestaven matematický model, který principiálně vychází z modelu dopravní úlohy, jeho řešení proběhlo v optimalizačním software Xpress-IVE.

Při rozmístění autobusů navrhovaném na základě řešení sestaveného matematického modelu, by bylo možno dosáhnout úspor v neproduktivně ujeté vzdálenosti o velikosti 47,888 km za den, což při režijních nákladech autobusu 35 Kč.km<sup>-1</sup> přináší denní úsporu 1 676,08 Kč za den.

Dá se očekávat, že zařazením všech autobusů do optimalizačního výpočtu by bylo dosaženo ještě dalších úspor.

## Poděkování

Zaměstnanci Dopravního podniku města Ostravy a.s. panu Ing. Robertu Hackenbergovi za odborné konzultace a poskytnuté podklady.

## Seznam použité literatury

- [1] Internetové stránky [online]. [cit. 2. 5. 2010]. Dostupné na <http://www.mhd- ostrava.cz>
- [2] Internetové stránky [online]. [cit. 2. 5. 2010]. Dostupné na <http://www.mapy.cz>
- [3] Internetové stránky [online]. [cit. 2. 5. 2010]. Dostupné na <http://dpo.cz>
- [4] BRANNY, M.: Návrh oběhu vozidel na linkách MHD v Ostravě. Diplomová práce, VŠB-TU Ostrava, Institut dopravy, Ostrava 2007.
- [5] GUZEJ, M.: Optimalizace oběhů vozidel v části linkové sítě Dopravního podniku Ostrava. Diplomová práce, VŠB-TU Ostrava, Institut dopravy, Ostrava 2009
- [6] DANĚK, J.: Optimalizace dopravních procesů. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005, dotisk 1. Vydání, ISBN 80-248-0996-6
- [7] Internetové stránky [online]. [cit. 2. 5. 2010]. Dostupné na <http://www.kouzlodopravy.cz>
- [8] GASS, S.I.: Lineárne programovanie metódy a aplikácie. Bratislava : ALFA, 1972, 2.prepracované vydanie, s. 400, ISBN 63-552-72

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1. ... Služební jízdní řad (v elektronické podobě na přiloženém CD)

Příloha č. 2. ... Tabulka nevyužitých kilometrů (Tab. 4.3. až Tab. 4.7.)

Příloha č. 3. ... Text optimalizačního programu

## Příloha č. 2

Tab. 4.3 Tabulka nevyužitých kilometrů

A	B	C	D	Z <sub>k</sub>	Z <sub>k</sub>	H	M	S	T	E
50	31	408							A	H
51	31	409							A	H
52	31	421							A	H
53	32	421							A	H
54	34	101							A	J
55	34	102	202	Z7	Z40	21.138	17.479	17.971	A	H
56	34	103	203	Z22	Z40	10.752	20.679	20.371	A	H
57	34	404							A	H
58	34	405							A	H
59	34	421							A	H
60	34	422							A	H
61	34	423							A	H
62	35	101	202	Z32	Z32	22.738	26.040	23.057	A	H
63	36	101	201	Z26	Z27	32.463	7.292	4.546	A	S
64	36	102	202	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	A	S
65	36	103	203	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	A	S
66	36	104	204	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	A	S
67	36	405	405	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	B	M
68	36	406							A	M
69	36	407							A	M
70	36	408							A	H
71	36	409							A	H
72	36	410							A	H
73	37	101	201	Z45	Z44	31.576	8.957	3.555	A	S
74	37	102							A	H
75	37	103	203	Z45	Z50	20.667	17.930	12.430	A	H
76	37	104	204	Z50	Z50	10.146	22.520	19.160	A	H
77	37	105	205	Z50	Z50	10.146	22.520	19.160	A	H
78	37	406							A	H
79	37	407							A	H
80	37	408							A	M
81	37	409							A	M
82	37	410							A	M
83	38	101	201	Z2	Z2	10.378	33.700	32.800	A	H
84	38	102	202	Z2	Z2	10.378	33.700	32.800	A	H
85	38	403							A	H
86	38	404							A	H
87	38	405							A	H
88	39	101	201	Z27	Z27	32.600	5.320	3.947	A	S
89	39	102	202	Z27	Z27	32.600	5.320	3.947	A	S
90	39	103	203	Z27	Z27	32.600	5.320	3.947	A	S
91	39	104	204	Z27	Z27	32.600	5.320	3.947	A	S
92	39	105	205	Z27	Z41	26.265	12.448	11.703	A	S
93	39	106	206	Z50	Z11	5.801	21.720	20.900	A	H
94	39	207	207	Z27	Z47	26.700	7.081	6.372	A	S
95	39	408							A	M
96	39	409							A	M
97	39	410							A	M
98	39	411							A	M

Tab. 4.4 Tabulka nevyužitých kilometrů

	B	C	D	Z <sub>k</sub>	Z <sub>k</sub>	H	M	S	T	E
99	39	412							A	H
100	39	421							A	H
101	40	101	201	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	A	S
102	40	102	202	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	A	S
103	40	103	203	Z26	Z42	34.469	6.854	3.133	A	S
104	40	104	204	Z42	Z45	29.766	6.716	2.267	A	S
105	40	405	405	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	B	M
106	40	406							A	M
107	40	407							A	M
108	41	101	201	Z9	Z48	22.965	30.766	26.186	A	H
109	41	102	202	Z53	Z53	25.690	30.066	23.918	A	H
110	41	103	203	Z53	Z48	24.827	31.487	27.962	A	H
111	41	104	204	Z53	Z53	25.690	30.066	23.918	A	H
112	41	405							A	H
113	41	421							A	H
114	41	422							A	H
115	42	101	201	Z16	Z32	19.106	19.446	18.085	A	H
116	42	102	202	Z32	Z16	19.664	21.676	20.323	A	H
117	42	403							A	M
118	42	404							A	H
119	42	405							A	H
120	42	406							A	H
121	44	101	201	Z39	Z39	22.905	10.851	7.270	A	S
122	44	102	202	Z49	Z27	25.700	7.372	6.070	A	S
123	44	103	203	Z39	Z1	29.604	9.431	4.098	A	S
124	44	104	204	Z27	Z43	23.000	9.472	8.763	A	S
125	44	405							A	M
126	44	406							A	M
127	44	407							A	M
128	45	101	201	Z42	Z42	32.251	6.054	1.323	A	S
129	45	102	202	Z42	Z1	32.251	6.054	1.999	A	S
130	45	403							A	M
131	45	404							A	M
132	45	405							A	M
133	45	406							A	M
134	45	407							A	M
135	46	101	201	Z31	Z33	30.900	12.193	9.266	A	S
136	46	102	202	Z31	Z33	30.900	12.193	9.266	A	S
137	46	103	203	Z36	Z33	26.300	7.734	2.656	A	S
138	46	204	204	Z47	Z31	28.475	15.695	12.793	A	M
139	46	405							A	M
140	46	406							A	M
141	46	407							A	M
142	47	101	101	Z45	Z45	31.191	8.461	3.166	A	M
143	48	101	201	Z10	Z32	22.933	25.700	24.745	A	H
144	48	102	202	Z8	Z13	23.098	24.852	19.356	A	H
145	48	103	203	Z43	Z43	12.387	13.957	13.358	A	H
146	48	104	204	Z13	Z32	23.772	23.959	20.981	A	H
147	48	105	205	Z8	Z32	22.064	23.210	20.965	A	H

Tab. 4.5 Tabulka nevyužitých kilometrů

A	B	C	D	Z <sub>k</sub>	Z <sub>k</sub>	H	M	S	T	E
148	48	406							A	H
149	48	407							A	H
150	48	408							A	H
151	48	421							A	H
152	48	422							A	H
153	49	101	201	Z19	Z11	4.426	28.000	27.300	A	H
154	49	102	202	Z40	Z48	16.605	27.485	26.057	A	H
155	49	103	103	Z26	Z26	32.480	7.941	5.275	A	M
156	49	404							A	H
157	49	405							A	M
158	49	406							A	M
159	49	407							A	M
160	49	408							A	M
161	49	409							A	M
162	49	410							A	M
163	49	421							A	H
164	50	101	201	Z21	Z20	21.652	25.787	25.171	A	H
165	50	402							A	H
166	50	403							A	H
167	50	404							A	H
168	50	405							A	H
169	51	101	201	Z30	Z42	35.906	8.850	6.494	A	S
170	51	402							A	M
171	51	403							A	M
172	52	101	201	Z28	Z14	16.522	30.300	29.200	A	H
173	52	102	202	Z28	Z14	16.522	30.300	29.200	A	H
174	52	403							A	H
175	53	401	401	Z31	Z47	27.700	13.320	12.777	B	M
176	53	402	402	Z31	Z46	32.000	13.073	12.530	B	M
177	53	403	403	Z46	Z46	24.000	11.336	8.147	B	M
178	54	421							A	H
179	55	101	201	Z52	Z21	25.958	28.300	27.500	A	H
180	55	102	202	Z52	Z52	24.319	27.533	25.361	A	H
181	55	421							A	H
182	56	101	201	Z12	Z6	19.359	21.700	9.800	A	H
183	56	102	202	Z7	Z1	32.669	10.924	9.028	A	S
184	56	103	203	Z7	Z1	32.669	10.924	9.028	A	S
185	56	104	204	Z40	Z16	13.630	21.110	21.417	A	H
186	56	105	205	Z1	Z1	33.598	6.979	2.746	A	S
187	56	106	106	Z1	Z40	21.957	13.534	11.689	A	H
188	56	407							A	H
189	56	408							A	H
190	56	409							A	M
191	56	410							A	M
192	56	411							A	M
193	56	412							A	M
194	56	413							A	M
195	56	414							A	M
196	56	415							A	M



Tab. 4.6 Tabulka nevyužitých kilometrů

A	B	C	D	Z <sub>k</sub>	Z <sub>k</sub>	H	M	S	T	E
197	56	421							A	J
198	56	422							A	J
199	56	423							A	H
200	1	424							A	H
201	57	401							A	H
202	57	402							A	H
203	57	403							A	H
204	57	404							A	H
205	57	405							A	H
206	58	101	201	Z35	Z46	26.900	6.686	4.628	A	S
207	58	102	202	Z35	Z46	26.900	6.686	4.628	A	S
208	58	103	203	Z37	Z45	28.870	9.720	4.002	A	S
209	58	104	104	Z37	Z37	25.829	9.916	5.019	B	M
210	58	405	405	Z30	Z37	30.929	10.742	8.455	B	M
211	58	406	406	Z16	Z17	21.837	10.177	10.838	B	M
212	58	407	406	Z17	Z37	26.729	6.499	5.964	B	M
213	59	401							A	M
214	59	402							A	M
215	59	403							A	M
216	62	401							A	H
217	64	101	201	Z46	Z46	24.000	11.336	8.147	A	S
218	64	402	402	Z46	Z46	24.000	11.336	8.147	B	M
219	66	421							A	J
220	67	101	201	Z38	Z7	28.055	15.600	17.067	A	S
221	77	101	201	Z32	Z32	22.738	26.040	23.057	A	H
222	77	102	202	Z32	Z34	27.228	28.140	24.912	A	H
223	77	203	203	Z25	Z41	14.271	25.790	26.485	A	H
224	77	421							A	H
225	77	422							A	H
226	77	423							A	H
227	77	424							A	H
228	82	401							A	H
229	96	101	101	Z9	Z32	23.064	25.412	21.820	C	H
230	97	101	201	Z11	Z11	0.804	25.900	25.100	C	H
231	98	101	201	Z24	Z29	20.122	27.800	26.900	C	H
232	99	101	201	Z18	Z18	9.398	18.300	17.600	C	H
233	99	102	202	Z18	Z18	9.398	18.300	17.600	C	H
234	X50	101							A	H
235	X50	402							A	H
236	925	346							A	H
237	925	347							A	H
238	925	348							A	H
239	925	349							A	H
240	925	350							A	H
241	925	351	351	Z5	Z5	0.010	26.400	12.800	C	H
242	925	352							A	H
243	925	353							A	H
244	925	361							A	H
245	925	362							A	H

Tab. 4.7 Tabulka nevyužitých kilometrů

A	B	C	D	Z <sub>k</sub>	Z <sub>k</sub>		M	S	T	E
246	925	363							A	H
247	925	364							A	H
248	925	365	351	Z5	Z5	0.010	26.400	12.800	C	H
249	925	366							A	H
250	925	367							A	H
251	925	368							A	H
252	926	376							A	S
253	926	377							A	S
254	926	378							A	S
255	926	379							A	S
256	926	380							A	S
257	926	381							A	S
258	926	382							A	S
259	926	383							A	S
260	926	384							A	S

### Příloha č. 3.

```
model diplomovaprace
uses "mmxprs";
```

```

declarations
zdr=1..3
zak1=1..73
zak2=1..73
zak3=1..73

```

```
a:array(zdr)of real
b1:array(zak1)of real
b2:array(zak2)of real
b3:array(zak3)of real
```

```

c:array(zdr,zak1)of real
x:array(zdr,zak1)of mpvar
y:array(zdr,zak2)of mpvar
z:array(zdr,zak3)of mpvar
f:array(zdr)of mpvar
h:array(zdr)of mpvar
end-declarations

```

```
a::[102,
      25,
      33]
```

```

b1::[1,1,1,6,1,1,1,1,1,0,0,0,1,2,1,1,0,1,1,6,1,4,1,1,1,2,2,1,0,2,0,0,2,1,1,1,1,2,1,1,0,1,1,1,
2,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,2,1,1,1,2,2,1,1,2,1,1,1,0]
b2::[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
b3::[0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]

```

c::[33.598,21.957,22.933,0.804,5.394,19.359,23.772,9.752,19.106,21.837,26.729,9.39  
8,4.426,10.378,21.652,10.752,20.122,14.271,32.463,32.480,34.469,32.600,26.265,26.  
700,23.000,16.522,8.430,35.906,30.929,30.900,27.700,32.000,22.738,19.664,27.228,2  
8.328,32.818,26.900,26.300,28.870,25.829,28.055,22.905,29.604,9.949,16.605,13.630  
,29.766,32.251,32.251,12.387,31.576,20.667,31.191,24.000,28.475,25.700,4.802,0.01  
0,10.503,10.146,5.801,25.958,24.319,17.990,25.690,24.827,21.138,32.669,23.098,22.  
064,22.965,23.064,  
6.979,13.534,25.700,25.900,30.500,21.700,23.959,21.600,19.446,10.177,6.499,18.300  
,28.000,33.700,25.787,20.679,27.800,25.790,7.292,7.941,6.854,5.320,12.448,7.081,9.  
472,30.300,23.500,8.850,10.742,12.193,13.320,13.073,26.040,21.676,28.140,27.555,2  
9.655,6.686,7.734,9.720,9.916,15.600,10.851,9.431,27.000,27.485,21.110,6.716,6.054  
,6.054,13.957,8.957,17.930,8.461,11.336,15.695,7.372,26.900,26.400,20.720,22.520,2  
1.720,28.300,27.533,27.233,30.066,31.487,17.479,10.924,24.852,23.210,30.766,25.41  
2.

2.746,11.689,24.745,25.100,29.700,9.800,20.981,20.600,18.085,10.838,5.964,17.600,  
27.300,32.800,25.171,20.371,26.900,26.485,4.546,5.275,3.133,3.947,11.703,6.372,8.7  
63,29.200,22.600,6.494,8.455,9.266,12.777,12.530,23.057,20.323,24.912,26.445,28.3  
00,4.628,2.656,4.002,5.019,17.067,7.270,4.098,23.660,26.057,21.417,2.267,1.323,1.9  
99,13.358,3.555,12.430,3.166,8.147,12.793,6.070,23.560,12.800,19.900,19.160,20.90  
0,27.500,25.361,24.851,23.918,27.962,17.971,9.028,19.356,20.965,26.186,21.820]

forall(i in zdr)sum(j in zak1)x(i,j)+sum(j in zak2)y(i,j)+sum(j in zak3)z(i,j)<=a(i)

forall(j in zak1)sum(i in zdr)x(i,j)=b1(j)

sum(i in zdr)y(i,10)=b2(10)  
sum(i in zdr)y(i,11)=b2(11)  
sum(i in zdr)y(i,20)=b2(20)  
sum(i in zdr)y(i,29)=b2(29)  
sum(i in zdr)y(i,31)=b2(31)  
sum(i in zdr)y(i,32)=b2(32)  
sum(i in zdr)y(i,41)=b2(41)  
sum(i in zdr)y(i,55)=b2(55)

y(1,1)=0  
y(1,2)=0  
y(1,3)=0  
y(1,4)=0  
y(1,5)=0  
y(1,6)=0  
y(1,7)=0  
y(1,8)=0  
y(1,9)=0

y(1,12)=0  
y(1,13)=0  
y(1,14)=0  
y(1,15)=0  
y(1,16)=0  
y(1,17)=0  
y(1,18)=0  
y(1,19)=0

y(1,21)=0  
y(1,22)=0  
y(1,23)=0  
y(1,24)=0  
y(1,25)=0  
y(1,26)=0  
y(1,27)=0

$$y(1,28)=0$$

$$y(1,30)=0$$

$$y(1,33)=0$$

$$y(1,34)=0$$

$$y(1,35)=0$$

$$y(1,36)=0$$

$$y(1,37)=0$$

$$y(1,38)=0$$

$$y(1,39)=0$$

$$y(1,40)=0$$

$$y(1,42)=0$$

$$y(1,43)=0$$

$$y(1,44)=0$$

$$y(1,45)=0$$

$$y(1,46)=0$$

$$y(1,47)=0$$

$$y(1,48)=0$$

$$y(1,49)=0$$

$$y(1,50)=0$$

$$y(1,51)=0$$

$$y(1,52)=0$$

$$y(1,53)=0$$

$$y(1,54)=0$$

$$y(1,56)=0$$

$$y(1,57)=0$$

$$y(1,58)=0$$

$$y(1,59)=0$$

$$y(1,60)=0$$

$$y(1,61)=0$$

$$y(1,62)=0$$

$$y(1,63)=0$$

$$y(1,64)=0$$

$$y(1,65)=0$$

$$y(1,66)=0$$

$$y(1,67)=0$$

$$y(1,68)=0$$

$$y(1,69)=0$$

$$y(1,70)=0$$

$$y(1,71)=0$$

$$y(1,72)=0$$

$$y(1,73)=0$$

$$y(2,1)=0$$

$$y(2,2)=0$$

$y(2,3)=0$   
 $y(2,4)=0$   
 $y(2,5)=0$   
 $y(2,6)=0$   
 $y(2,7)=0$   
 $y(2,8)=0$   
 $y(2,9)=0$

$y(2,12)=0$   
 $y(2,13)=0$

$y(2,14)=0$   
 $y(2,15)=0$   
 $y(2,16)=0$   
 $y(2,17)=0$   
 $y(2,18)=0$   
 $y(2,19)=0$

$y(2,21)=0$   
 $y(2,22)=0$   
 $y(2,23)=0$   
 $y(2,24)=0$   
 $y(2,25)=0$   
 $y(2,26)=0$   
 $y(2,27)=0$   
 $y(2,28)=0$

$y(2,30)=0$

$y(2,33)=0$   
 $y(2,34)=0$   
 $y(2,35)=0$   
 $y(2,36)=0$   
 $y(2,37)=0$   
 $y(2,38)=0$   
 $y(2,39)=0$   
 $y(2,40)=0$

$y(2,42)=0$   
 $y(2,43)=0$   
 $y(2,44)=0$   
 $y(2,45)=0$   
 $y(2,46)=0$   
 $y(2,47)=0$   
 $y(2,48)=0$   
 $y(2,49)=0$   
 $y(2,50)=0$

$y(2,51)=0$   
 $y(2,52)=0$   
 $y(2,53)=0$   
 $y(2,54)=0$

$y(2,56)=0$   
 $y(2,57)=0$   
 $y(2,58)=0$   
 $y(2,59)=0$   
 $y(2,60)=0$   
 $y(2,61)=0$   
 $y(2,62)=0$   
 $y(2,63)=0$   
 $y(2,64)=0$   
 $y(2,65)=0$   
 $y(2,66)=0$   
 $y(2,67)=0$   
 $y(2,68)=0$   
 $y(2,69)=0$   
 $y(2,70)=0$   
 $y(2,71)=0$   
 $y(2,72)=0$   
 $y(2,73)=0$   
 $y(3,1)=0$   
 $y(3,2)=0$   
 $y(3,3)=0$   
 $y(3,4)=0$   
 $y(3,5)=0$   
 $y(3,6)=0$   
 $y(3,7)=0$   
 $y(3,8)=0$   
 $y(3,9)=0$

$y(3,12)=0$   
 $y(3,13)=0$   
 $y(3,14)=0$   
 $y(3,15)=0$   
 $y(3,16)=0$   
 $y(3,17)=0$   
 $y(3,18)=0$   
 $y(3,19)=0$

$y(3,21)=0$   
 $y(3,22)=0$   
 $y(3,23)=0$   
 $y(3,24)=0$   
 $y(3,25)=0$

$y(3,26)=0$   
 $y(3,27)=0$   
 $y(3,28)=0$

$y(3,30)=0$

$y(3,33)=0$   
 $y(3,34)=0$   
 $y(3,35)=0$   
 $y(3,36)=0$   
 $y(3,37)=0$   
 $y(3,38)=0$   
 $y(3,39)=0$   
 $y(3,40)=0$

$y(3,42)=0$   
 $y(3,43)=0$   
 $y(3,44)=0$   
 $y(3,45)=0$   
 $y(3,46)=0$   
 $y(3,47)=0$   
 $y(3,48)=0$   
 $y(3,49)=0$   
 $y(3,50)=0$   
 $y(3,51)=0$   
 $y(3,52)=0$   
 $y(3,53)=0$   
 $y(3,54)=0$

$y(3,56)=0$   
 $y(3,57)=0$   
 $y(3,58)=0$   
 $y(3,59)=0$   
 $y(3,60)=0$   
 $y(3,61)=0$   
 $y(3,62)=0$   
 $y(3,63)=0$   
 $y(3,64)=0$   
 $y(3,65)=0$   
 $y(3,66)=0$   
 $y(3,67)=0$   
 $y(3,68)=0$   
 $y(3,69)=0$   
 $y(3,70)=0$   
 $y(3,71)=0$   
 $y(3,72)=0$   
 $y(3,73)=0$



$\text{sum}(i \text{ in } \text{zdr})z(i,4)=b3(4)$   
 $\text{sum}(i \text{ in } \text{zdr})z(i,12)=b3(12)$   
 $\text{sum}(i \text{ in } \text{zdr})z(i,17)=b3(17)$   
 $\text{sum}(i \text{ in } \text{zdr})z(i,59)=b3(59)$   
 $\text{sum}(i \text{ in } \text{zdr})z(i,73)=b3(73)$

$z(1,1)=0$   
 $z(1,2)=0$   
 $z(1,3)=0$

$z(1,5)=0$   
 $z(1,6)=0$   
 $z(1,7)=0$   
 $z(1,8)=0$   
 $z(1,9)=0$   
 $z(1,10)=0$   
 $z(1,11)=0$

$z(1,13)=0$   
 $z(1,14)=0$   
 $z(1,15)=0$   
 $z(1,16)=0$

$z(1,18)=0$   
 $z(1,19)=0$   
 $z(1,20)=0$   
 $z(1,21)=0$   
 $z(1,22)=0$   
 $z(1,23)=0$   
 $z(1,24)=0$   
 $z(1,25)=0$   
 $z(1,26)=0$   
 $z(1,27)=0$   
 $z(1,28)=0$   
 $z(1,29)=0$   
 $z(1,30)=0$   
 $z(1,31)=0$   
 $z(1,32)=0$   
 $z(1,33)=0$   
 $z(1,34)=0$   
 $z(1,35)=0$   
 $z(1,36)=0$   
 $z(1,37)=0$   
 $z(1,38)=0$   
 $z(1,39)=0$   
 $z(1,40)=0$   
 $z(1,41)=0$   
 $z(1,42)=0$   
 $z(1,43)=0$

$z(1,44)=0$   
 $z(1,45)=0$   
 $z(1,46)=0$   
 $z(1,47)=0$   
 $z(1,48)=0$   
 $z(1,49)=0$   
 $z(1,50)=0$   
 $z(1,51)=0$   
 $z(1,52)=0$   
 $z(1,53)=0$   
 $z(1,54)=0$   
 $z(1,55)=0$   
 $z(1,56)=0$   
 $z(1,57)=0$   
 $z(1,58)=0$

$z(1,60)=0$   
 $z(1,61)=0$   
 $z(1,62)=0$   
 $z(1,63)=0$   
 $z(1,64)=0$   
 $z(1,65)=0$   
 $z(1,66)=0$   
 $z(1,67)=0$   
 $z(1,68)=0$   
 $z(1,69)=0$   
 $z(1,70)=0$   
 $z(1,71)=0$   
 $z(1,72)=0$   
 $z(2,1)=0$   
 $z(2,2)=0$   
 $z(2,3)=0$

$z(2,5)=0$   
 $z(2,6)=0$   
 $z(2,7)=0$   
 $z(2,8)=0$   
 $z(2,9)=0$   
 $z(2,10)=0$   
 $z(2,11)=0$

$z(2,13)=0$   
 $z(2,14)=0$   
 $z(2,15)=0$   
 $z(2,16)=0$

$z(2,18)=0$   
 $z(2,19)=0$

$z(2,20)=0$   
 $z(2,21)=0$   
 $z(2,22)=0$   
 $z(2,23)=0$   
 $z(2,24)=0$   
 $z(2,25)=0$   
 $z(2,26)=0$   
 $z(2,27)=0$   
 $z(2,28)=0$   
 $z(2,29)=0$   
 $z(2,30)=0$   
 $z(2,31)=0$   
 $z(2,32)=0$   
 $z(2,33)=0$   
 $z(2,34)=0$   
 $z(2,35)=0$   
 $z(2,36)=0$   
 $z(2,37)=0$   
 $z(2,38)=0$   
 $z(2,39)=0$   
 $z(2,40)=0$   
 $z(2,41)=0$   
 $z(2,42)=0$   
 $z(2,43)=0$   
 $z(2,44)=0$   
 $z(2,45)=0$   
 $z(2,46)=0$   
 $z(2,47)=0$   
 $z(2,48)=0$   
 $z(2,49)=0$   
 $z(2,50)=0$   
 $z(2,51)=0$   
 $z(2,52)=0$   
 $z(2,53)=0$   
 $z(2,54)=0$   
 $z(2,55)=0$   
 $z(2,56)=0$   
 $z(2,57)=0$   
 $z(2,58)=0$   
  
 $z(2,60)=0$   
 $z(2,61)=0$   
 $z(2,62)=0$   
 $z(2,63)=0$   
 $z(2,64)=0$   
 $z(2,65)=0$   
 $z(2,66)=0$   
 $z(2,67)=0$

$z(2,68)=0$   
 $z(2,69)=0$   
 $z(2,70)=0$   
 $z(2,71)=0$   
 $z(2,72)=0$   
 $z(3,1)=0$   
 $z(3,2)=0$   
 $z(3,3)=0$

$z(3,5)=0$   
 $z(3,6)=0$   
 $z(3,7)=0$   
 $z(3,8)=0$   
 $z(3,9)=0$   
 $z(3,10)=0$   
 $z(3,11)=0$

$z(3,13)=0$   
 $z(3,14)=0$   
 $z(3,15)=0$   
 $z(3,16)=0$

$z(3,18)=0$   
 $z(3,19)=0$   
 $z(3,20)=0$   
 $z(3,21)=0$   
 $z(3,22)=0$   
 $z(3,23)=0$   
 $z(3,24)=0$   
 $z(3,25)=0$   
 $z(3,26)=0$   
 $z(3,27)=0$   
 $z(3,28)=0$   
 $z(3,29)=0$   
 $z(3,30)=0$   
 $z(3,31)=0$   
 $z(3,32)=0$   
 $z(3,33)=0$   
 $z(3,34)=0$   
 $z(3,35)=0$   
 $z(3,36)=0$   
 $z(3,37)=0$   
 $z(3,38)=0$   
 $z(3,39)=0$   
 $z(3,40)=0$   
 $z(3,41)=0$   
 $z(3,42)=0$   
 $z(3,43)=0$

```

z(3,44)=0
z(3,45)=0
z(3,46)=0
z(3,47)=0
z(3,48)=0
z(3,49)=0
z(3,50)=0
z(3,51)=0
z(3,52)=0
z(3,53)=0
z(3,54)=0
z(3,55)=0
z(3,56)=0
z(3,57)=0
z(3,58)=0

```

```

z(3,60)=0
z(3,61)=0
z(3,62)=0
z(3,63)=0
z(3,64)=0
z(3,65)=0
z(3,66)=0
z(3,67)=0
z(3,68)=0
z(3,69)=0
z(3,70)=0
z(3,71)=0
z(3,72)=0

```

```

forall(i in zdr)sum(j in zak2)y(i,j)<=f(i)*100000
forall(i in zdr)sum(j in zak3)z(i,j)<=h(i)*100000
sum(i in zdr)f(i)=1
sum(i in zdr)h(i)=1
forall(i in zdr)f(i)is_binary
forall(i in zdr)h(i)is_binary
celkove_kilometry:=sum(i in zdr,j in zak1)c(i,j)*x(i,j)+sum(i in zdr,j in
zak2)c(i,j)*y(i,j)+sum(i in zdr,j in zak3)c(i,j)*z(i,j)
minimize(celkove_kilometry)
writeln("počet nevyužitých kilometrů: ",getobjval," km")
forall(i in zdr,j in zak1)writeln("x(",i,";",j,")=",getsol(x(i,j)))
forall(i in zdr,j in zak2)writeln("y(",i,";",j,")=",getsol(y(i,j)))
forall(i in zdr,j in zak3)writeln("z(",i,";",j,")=",getsol(z(i,j)))
end-model

```